

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENG. QUÍMICA

AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA
DE UM PRATO MISTO
(PERFURADO E VALVULADO)

ANTÔNIO ANDRÉ CHIVANGA BARROS

CAMPINA GRANDE - PB - BRASIL

Agosto/1992

dis.
73-473-19

1. Hidrodinâmica
2. Operação de Pratos
3. Engenharia Química

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENG. QUÍMICA

AVALIAÇÃO DA HIDRODINÂMICA
DE UM PRATO MISTO
(VALVULADO E PERFURADO)

Antônio André Chivanga Barros

CAMPINA GRANDE

1992

ANTÔNIO ANDRÉ CHIVANGA BARROS

Dissertação apresentada ao colegiado do Curso de MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

Operações e processos

MICHEL FRANÇOIS FOSSY

orientador

CAMPINA GRANDE - PB - BRASIL

AGOSTO

1992



B277a Barros, Antonio Andre Chivanga
Avaliacao da hidrodinamica de um prato misto (perfurado e valvulado) / Antonio Andre Chivanga Barros.- Campina Grande, 1992.
157 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Quimica) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Hidrodinamica - Parametros 2. Operacoes e Processos 3. Engenharia Quimica 4. Dissertacao I. Fossy, Michel Francois II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Titulo

CDU 532.5(043)

ANTÔNIO ANDRÉ CHIVANGA BARROS

aluno

Dissertação aprovada em

17/_Agosto_/_1992_


MICHEL FRANÇOIS FOSSY
Orientador


KEPLER BORGES FRANÇA
Componente da banca


SEVERINO EMENTELIDO DE SOUSA
Componente da banca

CAMPINA GRANDE - PB

Agosto | 1992

DEDICATÓRIA

Aos meus pais(in memorian)

Aos meus irmãos

Aos meus sobrinhos

A minha noiva

*Ao Governo da República Pop. de Angola em nome do INABE
(Instituto Nacional de Bolsas de estudo)*

Ao povo de Angola

DEDICO ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Michel François Fossy, amigo mestre e orientador de todas as horas, como testemunho de todas as sabedorias respeito e responsabilidade.

Ao professor Mário Toyotaro Hattori, pela constante ajuda e disposição quando das consultas efetuadas. Meus agradecimentos.

À Universidade Federal da Paraíba

À Capes

À Secretária da Coordenação do Curso

Ao Coordenador do Curso

Aos funcionários dos laboratórios

Sem cujo honroso favor, bondosa disponibilidade e amizade fraterna, não poderia realizar este trabalho, meu agradecimento e reconhecimento.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa visa o estudo da variação dos parâmetros hidrodinâmicos (queda de pressão no prato seco e molhado) em função da variação da vazão de gás, número das perfurações, peso das válvulas e altura do líquido sobre estes, para os pratos perfurados, valvulados e mistos. Para estes parâmetros em estudo, foram ajustados os dados obtidos às equações existentes na literatura por métodos numéricos computacionais e sugerido pelo mesmo critério equações adequadas aos parâmetros variantes para cada tipo de prato. Assim, faz-se um estudo comparativo entre as diversas configurações. Também foi observado o comportamento térmico ao longo dos pratos molhados, identificando assim a área de maior transferência de calor, tendo como base a água quente e o ar frio.

ABSTRACT

The objective of this research is to study the variation of some hydrodynamics parameters (pressure dropping in the dry and irrigated plates) a function of the flow rate of gas, perforation number, weight of the valves and the level of the liquid on the perforated, valvued and mixed plates. From this study were adjusted the obtained results to equations from the literature by computational numeric methods and under the same thoughts new equations were suggested to changeable parameters for each type of plate. The thermal behaviour was investigated to the length of the irrigated plates with the objective to find out the great area of heat transference using hot water and cold air.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS

A	Área do prato compreendido entre as bordas do prato (m^3)
A_h	Área total das perfurações (m^2)
A_d	Área do vertedor descendente (m^2)
A_n	Área total para o escoamento do vapor (m^2)
A_a	Área total de buracos ativos (m^2)
A_0	Área total de buracos no prato (m^2)
$A_{a,c}$	Área ativa (m^2)
A_{v0}	Área total inicialmente aberta todas as válvulas (m^2)
A_v	Área total aberta para todas as válvulas (m^2)
A_{vmax}, A_{vmin}	Velocidade máxima e mínima de gás no orifício (m/s)
a	Constante da equação de Liebson $a = 0.499$
A_T	Área total do borbulhamento do prato
C_v	Coefficiente de descarga
C_0	Factor de atrito
C_1	Coefficiente de represa modificado
C_d	Constante de Colwell
C_F	Constante de represa de Francis
c	Altura da abertura das válvulas (cm de água)
C_{vp}	Coefficiente de arraste devido ao peso das válvulas
d_v	Diâmetro das válvulas (m)
d_0	Diâmetro dos orifícios (m)
D	Diâmetro da torre de destilação (m)
D_B	Diâmetro característico de borbulhamento (m)
D_{H1}	Diâmetro do prato perfurado (m)
f	Fator de fricção
f_0	Área das perfurações (m^2)
f_f	Fator de fricção da espuma
f_c	Área da secção transversal da coluna (m^2)
F_0	Área aberta destinada a vazão do gás (m^2)
g	Aceleração devido a gravidade (m/s^2)
G	Vazão da fase gasosa (m^3/h)
H	Altura do líquido na represa (m)
h_D	Queda de pressão no buraco seco (cm de H_2O)
h_{fa}	Altura da espuma (cm de H_2O)
h_g	Gradiente hidráulico devido ao fluxo de liq. sobre o prato
H_v	Espessura da válvula (m)

- h_1 : Altura do líquido não aerado sobre o prato (m)
 h_{lonly} : Altura do liq. não aerado e não transbordante sobre o prato
 h_{ow} : Altura da crista sobre o vertedor (cm de água)
 h_w : Altura do vertedor na saída do prato (m)
 h_T : Queda total de pressão através do prato (cm de água)
 h_w : Altura da represa (cm)
 $K_{\text{vf}}K_{\text{va}}$: Coeficientes de arraste dos pontos de balanço aberto e fechado respectivamente
 $L_{\text{a,c}}$: Velocidade do líquido na fase ativa (m/s)
 L_w : Comprimento do vertedor (m)
 M_v : Massa molar da fase gasosa
 M_l : Massa molar da fase líquida
 N_p : Número de perfurações sobre o prato
 Q : Vazão do líquido (m^3 / minuto)
 P_v : Peso das válvulas (gramas)
 $P_{\text{prática}}$: Pressão medidas (cm de água)
 P_{Ajustada} : Pressão ajustada a equação proposta (cm de água)
 Q_1 : Vazão do líquido por unidade de altura da represa (m^3 / min.)
 Q_v : Vazão do gás (m^3 / min)
 R_H : Raio hidráulico do líquido aerante (in)
 R_{vp} : Razão entre o peso das válvulas com pernas e sem pernas.
 Re_f : Número de Reynolds da espuma
 R : Constante dos gases
 t : Distância entre o centro das válvulas
 U_f : Velocidade da massa aerada (m/s)
 V_H : Velocidade do vapor sobre o prato perfurado (m/seg.)
 V_s : Velocidade superficial do vapor baseado sobre a área total
 V_{vbf} : Velocidade no ponto de balanço fechado (m/s)
 V_{vba} : Velocidade no ponto de balanço Aberto (m/s)
 W_a : Média aritmética entre o diâmetro da torre e o comprimento do vertedor (m)
 $X_{0,10,17,\dots,63.5}$: Distâncias de medida de temperatura ao longo do prato
 Z_1 : Comprimento da trajetória do fluxo ao longo do prato (m)
 β : Fator de aeração
 γ : Razão da distância entre um centro e outro do diâmetro da válvula
 $\gamma_l\gamma_g$: Peso específico do líquido e do gás (Kgf/m^3)
 μ_l : Viscosidade do líquido
 μ_v : Viscosidade do vapor

Φ_a :	Relativa a densidade de espuma
φ :	Razão entre a vazão de gás e a vazão de líquido
ρ_{vm} :	Densidade específica do material de que é feita a válvula (kg/m^3)
ρ_l :	Densidade específica do líquido (kg/m^3)
ρ_v :	Densidade específica da fase gasosa (kg/m^3)
σ :	Tensão superficial lb/ft
ΔP_s :	Queda de pressão no prato seco (cm de água)
ΔP_{g-l} :	Queda de pressão no prato molhado (cm de água)
ΔP_l :	Queda total de pressão devido a resistência da passagem do gás sobre o prato molhado (cm de água)
ΔP_θ :	Queda de pressão devido a tensão superficial (cm de água)
$\Delta P'_\theta$:	Queda de pressão devido ao efeito do líquido na entrada do vapor
ΔP_{sa} :	Queda de pressão no ponto de balanço aberto (cm de água)
ΔP_{sf} :	Queda de pressão no ponto de balanço fechado (cm de água)
Δ :	Gradiente Hidráulico
δp :	Espessura do prato (m)
ε :	Coefficiente de atrito
$\varepsilon_{1,2,3,4}$:	Coefficiente de atrito
λ :	Coefficiente de atrito para tubos
σ :	Tensão superficial do líquido (dyn/cm)
ΔT :	Variação de temperatura entre a alimentação e a descarga alimentação e a descarga ($^{\circ}C$)

ÍNDICE

Capítulo	Histórico	Página
I.	INTRODUÇÃO	1
II.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 -	Hidrodinâmica dos pratos perfurados	5
2.1.1 -	Performance do prato perfurado seco	5
2.1.2 -	Performance do prato perfurado molhado	9
2.2 -	Hidrodinâmica dos pratos valvulados	15
2.2.1 -	Considerações	15
2.2.2 -	Confrontação entre pratos valvulados e perfurados	16
2.2.3 -	Performance do prato valvulado seco	17
2.2.4 -	Performance do prato valvulado molhado	20
2.3 -	Hidrodinâmica dos pratos mistos	22
2.3.1 -	Performance do prato misto seco	22
2.3.2 -	performance do prato misto molhado	23
2.4 -	Transferência de calor nos pratos	23
III.	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 -	CONSIDERAÇÕES GERAIS	26
3.2 -	Equipamento de Apoio	27
3.3 -	Metodologia Experimental	29
3.3.1 -	Metodologia aplicada para o estudo de perfil de Temp.	31
IV.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 -	PRATO PERFURADO	33
4.1.1 -	Pratos perfurados secos	33
4.1.2 -	Analogia da equação proposta	37
4.2 -	Pratos perfurados molhados	39
4.2.1 -	Analogia da equação proposta	42
4.2.2 -	Transferência de calor	43
4.2.2.1 -	Generalidades	43
4.2.2.2 -	Análises individuais	45
4.3 -	PRATO VALVULADO	46
4.3.1 -	Pratos valvulados secos	47
4.3.1.1 -	Analogia da equação proposta	49

4.3.2 -	Pratos valvulados molhados	50
4.3.2.1 -	Analogia da equação proposta	52
4.3.2.2 -	Transferência de calor no prato molhado	53
4.3.2.2.1 -	Considerações gerais	53
4.3.2.2.2 -	Análises individuais	54
4.4 -	PRATO MISTO	57
4.4.1 -	Pratos mistos secos	57
4.4.1.1 -	Análise da equação proposta	62
4.4.2 -	Pratos mistos molhados	64
4.4.2.1 -	Análise da equação proposta	67
4.4.2.2 -	Transferência de calor no prato	68
V.	CONCLUSÃO	75
VI.	SUGESTÕES	79
VII.	BIBLIOGRAFIA	80
VIII.	TABELAS	86
IX.	APÊNDICE A	115
X.	APÊNDICE B	127
XI.	GRÁFICOS	132

CAPÍTULO I

I. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, o desenvolvimento e a segurança econômica das indústrias dependem da disponibilidade de investimentos na pesquisa tecnológica, levando a eles novos e confortáveis modelos científicos e eficientes de equipamentos.

A nossa pesquisa surge com objectivo de contribuição no mundo atual ao estudo de novos tipos de pratos, analisando a sua economia em termos de operabilidade e design.

As desvantagens econômicas apresentadas pelos pratos de campânula (os primeiros empregados nas indústrias de destilaria e petroquímicas) levaram ao estudo e posterior construção dos pratos perfurados e valvulados.

Os processos de separação visam a presença de colunas com bandejas (pratos), para o aumento da área efetiva de contato entre as fases líquida e gasosa, que podem ser classificadas de acordo com o modo de escoamento na sua estrutura interna.

- a) Bandejas com escoamento cruzado;*
- b) Bandejas com escoamento a contracorrente;*

As bandejas com escoamento cruzado, utilizam um vertedor de descida, e são mais usuais que as bandejas a contracorrente, em virtude da sua vantagem na transferência de massa e maior faixa de operação. O escoamento do fluido no prato com escoamento cruzado, pode ser controlado pela colocação dos vertedores, para que se possa conseguir a estabilidade e a eficiência desejadas.

Quando se adota mais de um vertedor, a fração de área da seção reta da coluna disponível aos dispersadores de gás (perfurações) diminui. Por isso, o ótimo projeto de uma bandeja envolve um compromisso entre o escoamento do líquido e o uso eficiente da seção reta para o escoamento do gás.

A maioria dos modelos modernos de pratos em correntes cruzadas emprega perfurações para dispersar o gás no líquido sobre a bandeja. Estas perfurações podem ser simples orifícios redondos, ou podem conter válvulas móveis que formam orifícios variáveis com formatos não-circulares. Estas bandejas são respetivamente as perfuradas e as valvuladas. Diferem entre si pelos dispositivos utilizados para promoverem o contacto entre as fases líquida e gasosa. Na primeira bandeja referenciada, o líquido é impedido a escoar através das

perfurações pela ação do fluxo do gás. Por isso, quando este fluxo é pequeno, é possível que parte do líquido, ou todo ele, escoo pelos orifícios e evite, na realidade, parte da zona de contato. A bandeja valvulada é projetada para minimizar esta drenagem ou fuga, pois as válvulas tendem a fechar quando o fluxo do gás se torna menor; a área total do orifício modifica-se de forma a manter uma pressão dinâmica equilibrada através da bandeja.

Nas bandejas a contracorrente, o líquido e o gás utilizam as mesmas aberturas para o escoamento. Assim não existem vertedores. As aberturas são, usualmente, pequenas perfurações redondas, simples ou fendas longas. Geralmente o gás e o líquido fluem de forma pulsada, com cada abertura deixando passar, intermitentemente, o líquido e o gás.

Os tipos de bandejas diferem da capacidade de possibilitarem pequenas taxas de escoamento de líquido ou de gás. Uma bandeja perfurada a fluxo cruzado, pode operar com uma pequena taxa de escoamento do gás, até ao ponto em que o líquido drena através dos orifícios, e a dispersão do gás fica inadequada para se obter boa eficiência. Os pratos valvulados podem operar com fluxos muito pequenos, em virtude do fechamento das válvulas. Todos os arranjos têm uma taxa mínima definida para o escoamento do gás, abaixo da qual há dispersão inadequada para o contato íntimo. Analogamente, há um escoamento mínimo do líquido abaixo do qual é possível uma boa distribuição, apesar da placa a escoamento inverso ser capaz de operar em fluxos líquidos extremamente baixos.

As torres com bandejas a contracorrente operam com as mesmas restrições sobre o arraste excessivo, a capacidade de escoamento ascendente e dispersão eficiente.

Em suma, o efeito da pequena dispersão do gás sobre a eficiência do prato é evidente nas pequenas taxas de escoamento. Analogamente, nas taxas elevadas, o arraste provoca uma perda de eficiência.

A combinação da distribuição de válvulas e perfurações sobre a bandeja, gera um novo tipo de prato já testado e utilizado pelas indústrias japonesas e alemães, denominadamente pratos mistos (Sieve-valve tray).

Para a ampliação da área de processos, dados sobre parâmetros hidrodinâmicos foram coletados nesta pesquisa, visto a sua quase inexistência na literatura.

A diversificação destes parâmetros levou-nos ao estudo da influência da vazão do gás, do peso das válvulas e da altura do líquido sobre o prato com a queda

de pressão. Além de mais, estes parâmetros foram utilizados para o estudo de um perfil de temperatura ao longo do prato.

A versatilidade do prato modelo, levou-nos ao estudo individual de cada tipo de prato, estudando os parâmetros citados acima.

CAPÍTULO II

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Hoje em dia, todas as indústrias químicas do mundo dispõem de pequenas ou grandes destilarias cujas colunas são compostas internamente de pratos perfurados ou valvulados, onde ocorre o contato entre as fases líquida e gasosa. As indústrias japonesas e alemãs têm no presente testes de pratos híbridos destes dois, denominados pratos mistos. Para a obtenção de dados hidrodinâmicos sobre estes pratos, os seus percussores contribuíram grandemente na obtenção de informações sobre o desempenho destes novos em relação aos dois acima mencionados (Sandra-1989).

2.1 - HIDRODINÂMICA DO PRATO PERFURADO

A função primária de um prato é a de proporcionar o contato estreito entre a totalidade do gás e a totalidade do líquido. O espaço que fica imediatamente acima do prato deve conter uma mistura de gás e líquido em agitação violenta. O gás passa através das perfurações existentes no prato para a camada líquida que escoar sobre o mesmo. Ocorre, contudo, a perda de energia cinética para o sistema.

2.1.1 - PERFORMANCE DE PRATO PERFURADO SECO.

A queda de pressão num prato perfurado seco (ΔP_s) é devida a:

- a) Contração do jato de gás na entrada das perfurações.*
- b) Atrito nas perfurações.*
- c) Expansão do jato de gás na saída das perfurações.*

Sendo a queda de pressão num prato perfurado em função da velocidade do gás, muitos pesquisadores desenvolveram expressões matemáticas que evidenciam também a sua dependência com outros parâmetros, tais como a espessura do prato e o diâmetro das perfurações.

Pesquisadores como Arnold et alii (1952) relacionaram a queda de pressão num prato como função da velocidade do ar no orifício e do diâmetro do orifício, assim;

$$\Delta P_s = f(V_0, d_0) \quad (1)$$

Observa-se, nesta circunstância, o acréscimo da pressão com o aumento do diâmetro das perfurações. Correlacionando os dados obtidos para o gradiente de pressão, obteve-se o coeficiente do orifício definido a priori como:

$$V_0 = C_0 \times (2 \times g \times \Delta P)^{0.5} \quad (2)$$

Para diversas vazões ou velocidades, este coeficiente teve uma variação nos limites de 0.55 a 0.85, segundo o pesquisador.

Por considerar a espessura do prato como parâmetro influente na queda de pressão, Mcalister et alii (1958) formularam uma expressão matemática definida assim;

$$\Delta P_s = K \{0.05 - 0.4(f_0/f_c)\} + \lambda \{(\delta p/d_0) + (1 + f_0/f_c)^2\} (V_0^2/2g) \quad (3)$$

O coeficiente K é obtido através de um nomograma, evidenciando a sua dependência com $\delta p/d_0$.

Estes sugeriram para uma primeira aproximação o cálculo de ΔP_s levando em conta a espessura do prato, conforme a expressão matemática;

$$\Delta P_s = \frac{\varepsilon \times V_0^2 \gamma_g}{2g} \quad (4)$$

Industrialmente, definiram limites numéricos de operação assim demonstrados;

$$3 < f_0 / f_c < 5 \quad \text{=====} \quad 1.95 < \varepsilon < 2.0$$

Para Smith, Kolodzie e Van Winkle (1957-58) ΔP_s pode ser expresso em termos da área funcional dos buracos distribuídos no prato. Esta correlação é mostrada na Figura (1), e o valor de C_0 obtido a partir desta figura.

$$\Delta P_s = 0.186 \times (V_0 / C_0)^2 (\rho_v / \rho_l) (1 - (A_0 / A_a)^2) \quad (5)$$

Observa-se contudo que C_0 é função do número de Reynolds, da espessura do prato, do diâmetro das perfurações e do seu arranjo geométrico.

Eduljee (1946) expressou a queda de pressão num prato perfurado seco como:

$$\Delta P_s = \frac{0.187 \times V_0^2 \times \rho_g}{C_0^2 \times \rho_l} \quad (6)$$

$$C_0 = 0.83 \text{ para perfurações de } 1/4 \text{ pol de diâmetro.}$$

Observa-se que a queda de pressão para um prato perfurado seco aumenta diretamente com o quadrado da velocidade do gás no orifício.

Liebson et alii (1957) propuseram a expressão de queda de pressão no prato seco como:

$$\Delta P_s = \frac{a \times \rho_g \times v_0^2}{C_0^2 \times \rho_l \times g} \quad (7)$$

Onde o valor de a é igual a 0.499. C_0 passa a ser função da percentagem da área da abertura e da razão do diâmetro da perfuração.

Ainda estes desenvolveram uma correlação mostrada na Figura (2) que relaciona o coeficiente do orifício C_0 para orifícios de 3/16 in de diâmetro, com o quociente da área total pela área ativa do prato. O coeficiente, para essa relação, é suficientemente exato para projetos propostos. Assim propuseram a seguinte Equação:

$$\Delta P_s = \frac{0.186 \times U_h^2 \times \rho_v}{C_0^2 \times \rho_l} \quad (8)$$

Nas equações (7) e (8), poder-se-á observar que quando a taxa de escoamento do líquido é muito pequena, a área da vazão do gás não é apreciavelmente diferente a de um prato seco, e a queda de pressão é devida ao fluxo através de uma série de aberturas de dimensões, localizações e distribuídas

ao acaso no leito. Assim a queda de pressão é proporcional ao quadrado da velocidade do gás.

Vamos considerar que ΔP_s equivale em termos representativos a queda de pressão no prato seco em polegadas de líquido causada pelo sistema sobre a passagem de vapor através das perfurações. Esta perda no topo pode ser calculada como uma queda no orifício seco sobre vários métodos, os quais diferem somente na evolução do orifício ou coeficiente de descarga. Esse coeficiente é função do número de variáveis interligadas, muitos dos quais não podem ser satisfatoriamente correlacionados.

Fair (1961) usou o fator de correção para incluir o efeito do líquido na entrada do vapor onde o fator de entrada é 10% ou mais.

$$\Delta P'_s = \frac{\Delta P_s \times [1 + 15 \times (\varphi \times L \times \rho_v^{0.5} \times M_1)]}{[(1-\varphi) \times V \times \rho_l^{0.5} \times M_v]} \quad (9)$$

Para pratos perfurados o gradiente hidráulico (Δ) pode ser calculado usando-se o método de Hughmark e O'Connell (1957);

$$\Delta = \frac{f_f \times U_f^2 \times Z_1}{12 \times g_c \times R_H} \quad (10)$$

f_f é o fator de fricção da espuma determinado para o número de Reynolds definido por:

$$R_{ef} = \frac{R_H U_f \rho_l}{\mu_l} \quad (11)$$

Onde o raio hidráulico R_H é calculado por:

$$R_H = \frac{W_a h_f}{W_a + 2h_f} \quad (12)$$

U_f , é a velocidade do escoamento da espuma, definida pela equação:

$$U_f = \frac{144 \times Q_l / W_a}{(60)(7.48)(H)} \quad (13)$$

W_a representa

$$W_a = \frac{D + L_w}{2} \quad (14)$$

Para análise dos seus dados práticos, Fasesan (1987) coletou dados num prato perfurado com 14.2% da superfície total livre de perfurações; confrontando estes com dados da literatura, registrou um desvio médio de 3%.

Huang e Hodson (1958) sugeriram uma equação para o cálculo da queda de pressão mínima sobre o prato perfurado seco necessária para se operar com o prato molhado.

2.1.2 - PERFORMANCE DO PRATO PERFURADO MOLHADO

A hidrodinâmica de um prato molhado, não é determinada apenas pela sua geometria, mas também pelas vazões do líquido e do gás envolvidas no processo.

Três fatores contribuem para a queda total de pressão com a resistência do fluxo de vapor, que são:

- a) O líquido usado.
- b) A passagem do vapor através das perfurações.
- c) Formação do vapor (borbulhamento).

A Figura (3) representa tipicamente as condições de operação para um prato molhado, que assim podem ser analisadas:

CURVA 1. - Representa a queda de pressão para um prato seco ou sistema a seco em função do quadrado da velocidade do gás.

CURVA 2. - Quando a taxa de escoamento do líquido é muito pequena, a área do borbulhamento do prato não é apreciavelmente diferente quando comparado com a do prato seco, a queda de pressão é função do fluxo

através de uma série de aberturas de dimensões e localizações distribuídas ao acaso no prato. Assim, a queda de pressão é aproximadamente proporcional ao quadrado da velocidade do gás.

CURVA 3. - Nas taxas mais elevadas do escoamento do líquido, a seção reia aberta real torna-se menor, em virtude da presença do líquido. Parte da energia da corrente gasosa é usada para suportar uma quantidade crescente de líquido no prato (A-B). Em qualquer taxa de escoamento do líquido, chega-se a uma zona em que a perda de carga é proporcional a uma potência da taxa de escoamento do gás, a qual é distintamente mais elevada do que dois(2). O aumento na queda de pressão é devido ao rápido acúmulo do líquido no volume vazio do prato.

A queda de pressão em um prato perfurado molhado ocorre porque:

Há perda de carga devido ao fluxo do gás através das perfurações (ΔP_s)

Há perda de carga necessária para superar a tensão superficial (ΔP_σ)

Há perda de carga requerida para superar o peso da coluna de líquido no prato (ΔP_1)

Simbolizando em termos matemáticos, poderemos demonstrar:

$$\Delta P_{g-l} = \Delta P_1 + \Delta P_s + \Delta P_\sigma \quad (15)$$

Definindo cada termo envolvente, podemos escrever:

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \times \sigma}{d_0} \quad \text{para } d_0 < 1 \text{ mm} \quad (16)$$

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \times \sigma}{1.3 \times d_0 + 0.08 \times d_0^2} \quad \text{para } d_0 > 1 \text{ mm} \quad (17)$$

Conforme Sterbacek(1967) ΔP_{σ} pode também ser estimada por:

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4 \times \sigma}{g \times \rho_l \times d_0} \quad \text{para } d_0 < 1 \text{ mm} \quad (18)$$

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{0.04 \times \sigma}{\rho_l \times d_0} \quad \text{para } d_0 > 1 \text{ mm} \quad (19)$$

Esta pode ser também representada como uma queda de pressão residual equivalente ao topo e definido como:

$$\Delta P_{\sigma} = \Delta H_T - \beta \times (h_w + h_{ow} + \Delta/2) - h_0 \quad (20)$$

Robinson - Gilliland (1950) recomendaram a seguinte forma de estimativa para a queda de pressão no prato molhado;

$$\Delta P_{g-1} = h_{ow} + h_w + (1/2) \times h_g \quad (21)$$

Sendo h_{ow} foi calculado por Francis usando a equação:

$$h_{ow} = C_f (Q_1)^{2/3} \quad (22)$$

Numerosos autores como Kemp-Pyle (1949), Hutchinson et alii(1949), Mayfield et alii(1952) e Fair(1963) reconheceram a equação de Ribinson-Gilliland (1950) sobre a estimativa de ΔP_{g-1} . O método proposto por Fair (1963) é comumente usado. Ele introduziu β (fator de aeração) na correlação:

$$\Delta P_{g-1} = \beta \times H_{\text{lonly}} \quad (23)$$

Francis definiu deste modo a altura do líquido por:

$$H_{\text{lonly}} = h_{ow} + h_w \quad (24)$$

Fair estimou β relacionando a densidade (φ_a) dos dados obtidos por Foss-Gerster (1956) e plotou o fator de aeração contra $\rho_v \times V_s^2$, obtendo a seguinte equação:

$$\beta = 0.58 + 0.42 \times \text{Exp}(-1.62\rho_v^{1/2} \times V_s) \quad (25)$$

Uma aproximação melhor para avaliação de β é feita através de uma expressão resultante da observação direta da variação da altura da espuma no prato combinada com medidas manométricas, representando assim a densidade da espuma:

$$\varphi_a = \Delta P_{g-1} / \Delta P_t \quad (26)$$

Hutchinson et alii (1949), desenvolveram a seguinte relação teórica para correlacionar φ_a e β :

$$\beta = \frac{\varphi_a + 1}{2} \quad (27)$$

Sterbacek (1967) sugeriu a razão do fluxo volumétrico de espuma, ao invés do líquido, usado na equação de Francis, observando a altura da espuma (h_{fa}) sobre o prato, definir do:

$$h_{fa} = h_w + C_f \times (Q_1 / \varphi_a)^{2/3} + (1/2) \times h_g \quad (28)$$

A queda de pressão passa a ser calculada por:

$$\Delta P_{g-1} = \varphi_a \times h_{fa} \quad (29)$$

Sterbacek (1967) estimou φ_a para a razão de ΔP_1 , obtido pela subtração de ΔP_s e ΔP_{g-1} , por observar a altura da espuma h_{fa} . Os dados experimentais geraram um erro de aproximadamente 12% quando usados para a determinação de φ_a .

Colwell (1979) estimou um modelo similar. Sua equação foi:

$$\Delta P_{g-l} = \varphi_a \times (h_w + C_1 (Q_l / \varphi_a)^{2/3}) \quad (30)$$

Colwell (1979) gerou uma equação avaliando φ_a para observar a altura da espuma e o valor de ΔP_{g-l} descrito por Foss-Gerster(1956), Bernard-Sargent(1966), Nutter(1971), Duehler-Van Winkle (1969) e Horris-Roper (1962). Esta equação foi baseada sobre a análise da energia feita por Azbel(1963) e Kim (1966) e é dada por:

$$\varphi_a = \frac{1}{1 + 12.6 \times (K_s / g \times \Delta P_{g-l})^{0.4} \times (A_H / A_T)^{-0.25}} \quad (31)$$

Onde

$$K_s = \frac{V_s \times \rho_v^{1/2}}{(\rho_l - \rho_v)^{1/2}} \quad (32)$$

Colwell (1979) derivou uma equação para a determinação do parâmetro C_1 para cálculos de dados a partir do sistema ar/água estudado por Foss-Gerster(1956), Brambilla et alii(1969) e Gilber(1959). Colwell correlacionou este parâmetro com uma constante que varia com a altura do líquido e da espuma, obtendo a equação:

$$C_1 = \frac{47.63}{C_d^{2/3}} \quad (33)$$

Onde

$$C_d = 0.61 + 0.08 \times ((h_{fa} - h_w) / h_w) \quad (34)$$

Isto se $(h_{fa} - h_w) / h_w < 8.135$

$$e \quad C_d = 1.06 \times (h_{fa}/(h_{fa} - h_w))^{1.5} \quad (35)$$

$$se (h_{fa} - h_w) / h_w > 8.135$$

Colwell usou as equações (33), (34) e (35) para analisar ΔP_{g-l} e comparar este prognóstico com dados experimentais dos valores de ΔP_{g-l} . Para comparar os dados usados para determinação da equação (35), do sistema ar/água, obteve-se um desvio médio de 7%.

Bernard e Sargent(1966) mediram a densidade da espuma e integraram o perfil vertical da densidade para proporcionar uma medida do retardamento do líquido. Thomas-Campbell (1978) deram informações úteis sobre a estática e a dinâmica do líquido no topo do prato.

Kupferberg-Jameson(1970) coletaram dados sobre a queda de pressão e a altura do líquido claro procedente do prato perfurado em equipamentos do laboratório. Estes dados foram posteriormente testados por Kharbanda-Chu(1970) sobre o componente hidráulico dos pratos perfurados. Além disso, sobre o fundamento dos resultados experimentais, os autores derivaram uma equação na forma de modelo aditivo para a estimativa da queda total de pressão em termos do topo do líquido sobre o prato, velocidade através do buraco, e termos incluindo queda de pressão devido a perfuração no prato seco.

Contudo, Edjee(1972) observou a exatidão de dois dados independentes de dois conjuntos de autores mencionando uma perda hidráulico total de 57.15 mm de água medidos sobre pratos perfurados a velocidade mínima de vapor.

Thomas-Ogboja(1978) apresentaram um útil estudo do trabalho prévio sobre este assunto.

While-Colwell(1979) desenvolveram uma correlação geral destes dados coletados procedentes de colunas retangulares. Dhulesia(1984) deu uma versão modificada do Hofhius e Zuiderweg (1979) de correlação que também representaram dados coletados da coluna retangular.

Bennett et alii(1983) obtiveram dados em uma coluna de 14 cm de diâmetro para pratos com pequena entrada, barragem alta, alcançando 25 mm de

altura e também com design do prato exibindo larga tensão superficial e consequente queda de pressão.

2.2 - HIDRODINÂMICA DOS PRATOS VALVULADOS

A passagem do gás para a camada líquida que escoar sobre um prato valvulado é regulada pela abertura variável oferecida pela válvula. As perfurações numa bandeja valvulada são cobertas por opérculos móveis (válvulas) que são levantados pelo gás que flui para cima através das perfurações, baixando-se sobre o orifício quando a velocidade do gás diminui. Desta forma, reduz-se o vazamento do líquido em pressões baixas. Além disso, as válvulas direcionam o gás horizontalmente no líquido, proporcionando uma mistura mais completa do que nos pratos perfurados simples, onde o gás passa verticalmente pela camada líquida. As perdas de energias nestes, assim como em qualquer outro, são representadas pelos gradientes de pressão em prato seco e em prato molhado.

2.2.1 - CONSIDERAÇÕES

Para Norman e Grocott(1961), as válvulas em um prato seco, oscilam entre uma posição média, quando o sistema opera com vazões baixas da fase gasosa. A altura da posição do alcance das válvulas acima do prato seco e a amplitude das oscilações crescem com o crescimento da vazão do gás, até que ocorre a estabilização.

Estes pesquisadores, desenvolveram duas expressões que relacionam as forças que atuam sobre uma válvula. Observaram que, para uma dada abertura da válvula, o gradiente de pressão em um prato seco é proporcional ao parâmetro $\rho \times v_0^2/2 \times g$. Esta proporcionalidade foi representada através das seguintes expressões:

$$c/d_0 < 0.23 \implies \Delta P_s/(\rho \times v_0^2/2 \times g) = 0.541 \times (c/d_0)^{-1.75} \quad (36)$$

$$c/d_0 > 0.23 \implies \Delta P_s/(\rho \times v_0^2/2 \times g) = 3.12 \quad (37)$$

Estes, tentaram explicar também a instabilidade no comportamento das válvulas, quando a vazão do gás é baixa (Figura 6): a válvula está em equilíbrio quando as forças que agem sobre ela são iguais ao seu peso. Nesta figura, podem ser vistas duas posições de equilíbrio, e uma oscilação das válvulas entre estes dois pontos (efeito de Bernoulli).

2.2.2 - COMPARAÇÃO ENTRE PRATOS VALVULADOS E PERFURADOS

- a) Um prato valvulado é similar a um prato perfurado, possuindo ambos vertedores e orifícios;*
- b) Os orifícios encontrados nos pratos valvulados são maiores;*
- c) Cada orifício nos pratos valvulados, é coberto por uma válvula que pode se mover livremente, para cima ou para baixo, motivada apenas por forças físicas que atuam sobre a válvula;*
- d) Billet et alii (1969) realizaram estudos comparativos entre esses dois pratos usando o sistema Estireno - Etil Benzeno e concluíram que:*
 - * A capacidade máxima dos dois pratos é essencialmente a mesma;*
 - * A capacidade mínima é maior para os pratos valvulados;*
 - * A eficiência dos pratos valvulados não diminui com a diminuição da vazão do gás.*
- e) Os modelos físicos utilizados para predizer o gradiente de pressão, a eficiência, os pontos onde ocorrem os fenômenos de gotejamento e inundação no prato, são os mesmos que existem na literatura para os pratos perfurados com exceção de:*
 - * Os coeficientes de arraste para os pratos valvulados são maiores;*
 - * A área de abertura (slot area) é variável.*
- f) Para vazões altas do gás (ar), todas as válvulas estarão completamente abertas. Nesta condição, a área de abertura é constante, comportando-se desta maneira o prato valvulado como um prato perfurado com orifícios grandes;*
- g) Para baixas vazões da fase gasosa, todas as válvulas estarão fechadas, caracterizando um comportamento de um prato perfurado com orifícios pequenos.*
- h) Para vazões intermediárias da fase gasosa, as válvulas*

oscilam constantemente, apresentando nesta conformidade um comportamento instável com algumas válvulas abertas e outras fechadas.

2.2.3 - PERFORMANCE DO PRATO VALVULADO SECO

Segundo Kafarov (1975) o gradiente de pressão através de um prato valvulado seco (ΔP_s) não varia uniformemente com a vazão do gás. Por este fato, torna-se difícil expressar a dependência de ΔP_s com a velocidade do gás.

Dados experimentais para pratos valvulados com válvulas tipo Glitsch, são traduzidos graficamente pela figura (7). Neste gráfico são apontadas três regiões de operações que são representadas por correlações, isto é: Para o gradiente de pressão e para a velocidade do gás.

Na região I

Região de baixas vazões de gás ou baixas velocidades de gás que pode ser denotada pela presença da válvulas fechadas.

Nesta região, a velocidade é definida por:

$$V_1 = \frac{\{ \varepsilon_2^{1/2} \times (M_v \times g) \}}{\{ \varepsilon_1^{1/2} \times (\gamma_g \times f_0) \}} \quad (38)$$

Onde

$$\varepsilon_1 = 3500 \times (A_{v0} / A_0)^{-1/2} \quad (39)$$

$$\varepsilon_2 = 6.71 \times (A_0 / A_v)^{-2.49} \quad e \quad 5.91 \times A_0 / A_v \quad (40)$$

E a perda de carga nesta região por:

$$\Delta P_{s1} = \frac{\varepsilon_1 \times \gamma_g \times V_0^2}{g \times \gamma_L \times (3600 \times A_0)^2} \quad (41)$$

Na região II

Região com válvulas parcialmente abertas destacada pela fase intermediária do gráfico, cuja velocidade é representada por:

$$V_{II} = \frac{0.9 \times \{\varepsilon_2^{1/2} \times M_v \times g\}}{\{(\varepsilon_4 - \varepsilon_3)^{1/2} \times \gamma_g \times f_0\}} \quad (42)$$

Onde:

$$\varepsilon_3 = 920 \times (A_{vmax} / A_0)^{-2.95} \quad (43)$$

$$\varepsilon_4 = 2160 \times (A_{vmax} / A_0)^{-0.8} \quad (44)$$

A perda de carga é calculada pela seguinte equação:

$$\Delta P_{sII} = \frac{3600 \times \varepsilon_2 \times M_v \times A_0 + \varepsilon_2 \times \gamma_g \times V_0 \times g \times f_0 \times \gamma_1}{f_0 \gamma_1 \times g \times \gamma_1 \times 3600 \times A_0} \quad (45)$$

Região III

Região caracterizada pela abertura total das válvulas, representada na parte final do gráfico.

A perda de carga é calculada por:

$$\Delta P_{sIII} = \frac{\varepsilon_4 \times \gamma_g \times V_0 \times g}{g \times \gamma_1 \times 3600 \times A_0} \quad (46)$$

Bolles(1976) sugeriu um modelo para descrever o comportamento dos pratos valvulados, como é mostrado na Figura 8. Antes de apresentar a correlação para ΔP_s , é conveniente que se faça uma descrição do comportamento de um prato valvulado.

Quando a velocidade do gás é baixa, todas as válvulas estão fechadas, porém, o gradiente de pressão (ΔP_s) cresce com este parâmetro até o ponto A

(ponto do balanço aberto). Neste ponto, todas as válvulas permanecem fechadas, porém, na eminência de abrirem.

Após o ponto A, ΔP_s mantém-se constante, exibindo uma uniformidade aparente até o ponto B (ponto do balanço aberto). Neste ponto, todas as válvulas estariam abertas porém na eminência de fecharem.

Este modelo mostra que as válvulas fechadas ou abertas podem ser tratadas como um tubo, portanto o gradiente de pressão no tubo seco pode ser dado pelas seguintes expressões:

Para válvulas fechadas:

$$\Delta P_{sf} = K_{vf} \times (\rho_v / \rho_l) \times (V_0^2 / 2 \times g) \quad (47)$$

Para válvulas abertas:

$$\Delta P_{sA} = K_{va} \times (\rho_v / \rho_l) \times (V_0^2 / 2 \times g) \quad (48)$$

Quando as válvulas estão parcialmente abertas, a principal fonte da queda de pressão é o próprio peso das válvulas, ou seja:

$$\Delta P_s = C_{vp} \times H_v \times R_{vp} \times (\rho_v / \rho_l) \quad (49)$$

Para as válvulas do tipo GLITSCH V-L, os coeficientes mencionados possuem os seguintes valores:

$$K_{vf} = 5.5, \quad K_{va} = 33.0, \quad C_{vp} = 1.25$$

Os valores destes coeficientes, foram substituídos nas equações acima, fornecendo a curva apresentada na Figura 8.

As velocidades críticas dos pontos de balanços fechados e abertos, são respectivamente dadas pelas seguintes expressões:

$$V_{vbf} = \{ (H_v \times R_{vp} \times (C_{vp} / K_{vf}) \times (\rho_{vm} / \rho_v)) \}^{1/2} \quad (50)$$

$$V_{vba} = \{ H_v \times R_{vp} \times (C_{vp} / K_{va}) \times (\rho_{vm} / \rho_v) \}^{1/2} \quad (51)$$

Sendo a relação entre os dois gerando a expressão:

$$V_{vbf} / V_{vba} = [K_{va} / K_{vf}]^{1/2} \quad (52)$$

Quando se trabalha com baixa velocidade do gás, isto é, $V_{vbf} < V < V_{vba}$, ocorrem dois fenômenos que poderão ser destacados:

*Com o crescimento da velocidade de gás, ΔP mantém-se constante.

*As válvulas oscilam entre a posição fechada e aberta, não alcançando uma posição estável.

Para Klein (1982) o primeiro fenômeno apresentado pode ser justificado baseado nas suas observações:

"Poder-se-á acreditar que o movimento ondulatório das válvulas dissipe energia cinética caracterizada pela curva $\Delta P_s \times Q_{va}$ ".

Quando Fasesan(1987) trabalhou com válvulas tipo Koch - T, não obteve uma região constante entre os pontos de balanço, como previsto na literatura.

Bolles (1976) e Klein(1982), ao desenvolverem seus modelos tiveram como base os dados para válvulas do tipo Glitsch-V. Nestes modelos apresentados prevê-se uma região de pressão constante entre os pontos de balanço.

Piqueur e Verholye(1976) apresentaram dados experimentais para flexitray tipo T - Venturi e pratos valvulados tipo Glitsch A-1 e Glitsch V-1. Em todos os casos, foram encontrados um gradiente de pressão entre os pontos de balanço.

2.2.4 - PERFORMANCE DO PRATO VALVULADO MOLHADO

Em conformidade com estudos feitos por Kafarov(1975), que definiu o gradiente de pressão total em um prato valvulado (ΔP_{g-l}) como sendo a soma dos gradientes de pressão através do prato seco e através da camada do líquido aerado (ΔP_l), isto é:

$$\Delta P_{g-l} = \Delta P_s + \Delta P_l \quad (53)$$

A Figura (7), apresenta curvas com dependência de ΔP_{g-l} e a velocidade de gás para três cargas de líquidos diferentes. Estas curvas foram obtidas para válvulas tipo Glitsch.

Com a finalidade de avaliar ΔP_{g-1} , utilizar-se-á uma das expressões para ΔP_s sugeridas por Kafarov, dependendo da carga do fluxo gasoso. São válidas para ΔP_1 as seguintes expressões:

Região II-III

$$\Delta P_1 = 0.27 \times (A_0 / F_p)^{-0.25} \times h_w^{0.85} \times L_{a,c}^{0.35} \quad (54)$$

Sendo:

$$F_p = 1.2 \times (2 \times A_d + A_{a,c}) \quad (55)$$

$$A_{a,c} = 1.1 \times (t/d_v)^2 \times A \quad (56)$$

Região I-II

$$\Delta P_1 = 0.65 \times 1.2^{-v_0} \times (A_0 / A_d)^{-0.25} h^{0.85} \times L_{a,c}^{0.35} \quad (57)$$

O uso desta última correlação deve ser feito, somente em cálculos estimativos a nível de projeto, uma vez que na região I da curva $\Delta P_{g-1} \times V_0$, as funções hidrodinâmicas são extremamente instáveis.

Bolles (1976) também sugeriu um método aditivo para a avaliação do gradiente de pressão através de um prato irrigado; isto é: ΔP_s é somada a queda de pressão encontrada na espuma:

$$\Delta P_{g-1} = \Delta P_s + h_f \quad (58)$$

A queda de pressão através da espuma pode ser estimada por:

$$h_f = \beta \times (h_w + h_{ow}) \quad (59)$$

Klein (1982), no seu projeto, critica o modelo proposto por Bolles, no que se refere a correlação utilizada para se calcular a queda de pressão através da espuma. Acha conservativo o uso do fator de aeração (β) para pratos perfurados, nessa correlação.

Argumenta portanto que, a forma de contato entre as fases líquida e gasosa, nos dois tipos de pratos é bastante diferenciada. Nos pratos perfurados, o

vapor penetra verticalmente na camada líquida, enquanto que nos pratos valvulados horizontalmente.

Tal diferença, leva a um fator de aeração menor para os pratos valvulados (Figura 11).

Propõe contudo, uma correlação, que apresenta uma precisão em torno de + ou - 24% para o cálculo de ΔP_1 . Esta correlação foi desenvolvida com base em publicações sobre pratos valvulados; Figuras (9), (10). Levando-se em consideração esta correlação para o fator de aeração, todas as relações desenvolvidas para ΔP_{g-l} dos pratos perfurados são válidas.

Fasesan(1987) correlacionou a perda de carga total em um prato valvulado tipo Koch, com a velocidade do orifício, para cinco diferentes vazões de líquido.

Concluiu-se que ΔP_{g-l} cresce não só com a velocidade no orifício bem como com a vazão do líquido no prato.

Os dados coletados para baixas vazões de gás, mostram que o fenômeno de gotejamento para o prato anterior é insignificante.

2.3 - HIDRODINÂMICA DOS PRATOS MISTOS

Os pratos mistos têm sido apontados como equipamentos de contato auspiciosos. Combinada as propriedades propícias dos pratos perfurados e valvulados (Tyutyunnikov - 1978), atualmente vêm sendo empregados em fase industrial no Japão e na Alemanha.

Estes apresentam bons resultados, em termos da funcionalidade, porém, sua eficiência está abaixo da oferecida pelos pratos perfurados. É possível, aumentar significativamente as faixas de operação estáveis e da eficiência através de um melhoramento no design das válvulas (Vesnouskii-1979).

2.3.1 - PERFORMANCE DO PRATO MISTO SECO

Vesnouskii et alii(1979), propuseram um modelo que relaciona o gradiente de pressão através de um prato seco (ΔP_s) com a relação G_v / F_0 (onde G_v é o peso das válvulas e F_0 a área aberta destinada a vazão da fase gasosa) e a velocidade do orifício V_0 . Esta relação foi obtida empiricamente

para o sistema água ar, sendo a queda de pressão desta equação causadora de 10% de erro e assim dada:

$$\Delta P_s = (3.3 + 0.026 \times G_v / F_0) \times V_0^{1.45} \times \rho_g^{0.725} \quad (60)$$

2.3.2 - PERFORMANCE DOS PRATOS MISTOS MOLHADOS

As investigações sobre a hidrodinâmica dos pratos mistos realizadas por Vesnovskii et alii, indicam que este tipo de prato pode operar em regime correspondente aos pratos perfurados (válvulas fechadas) bem como em regime correspondente aos pratos valvulados.

O gradiente de pressão em um prato irrigado (ΔP_{g-l}) pode ser definido como a soma do gradiente de pressão no prato seco (ΔP_s) e do gradiente de pressão referente a tensão superficial (ΔP_σ), ou seja:

$$\Delta P_{g-l} = \Delta P_s + \Delta P_\sigma \quad (61)$$

Onde ΔP_σ é calculado através das expressões propostas para pratos perfurados. A partir de dados experimentais correlacionais, propôs-se o seguinte modelo com + ou - 15% de precisão:

$$\Delta P_{g-l} = (\rho_l / 1000) \times (250 - 73.5 (W_a / \rho_g)^2) \times C_1 \quad (62)$$

Sendo

$$C_1 = 2.8 \times (L/Q)^{1.6} \implies L/Q = 0.2 - 0.525 \quad (63)$$

$$C_1 = 1 \implies L/Q = 0.525 - 1.63 \quad (64)$$

2.4 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PRATOS

A condução de calor numa mistura líquida-gás é regida basicamente pela formação de bolhas, caracterizando a mistura das duas fases, que ocorre por intermédio de colisões moleculares, originando a redução da energia cinética dos gases, devido ao impacto com o líquido e das forças de atrito que atuam na passagem pelas perfurações.

Assim a área interfacial de contacto entre as duas fases, por unidade de volume do prato é função da velocidade de escoamento do gás e da altura do líquido sobre o prato.

O calor é transferido em correntes laminares de água, que em contacto com o ar gera o movimento de numerosos elementos macroscópicos (turbilhões) na região de operações, dando assim o processo de transferência de calor no prato.

A energia transferida pelo fluxo de calor não pode ser medida diretamente, mas o conceito tem significado físico porque é relacionado com a grandeza mensurável chamada temperatura. Há muito, as observações estabelecem que, quando há uma diferença de temperatura em um sistema, o calor flui da região de alta temperatura para a de baixa temperatura. Desde que o fluxo de calor ocorre, sempre que há um gradiente de temperatura em um sistema, o conhecimento da distribuição da temperatura no sistema é essencial nos estudos de transferência de calor. Uma vez conhecida a distribuição da temperatura, a grandeza de interesse prático, isto é o fluxo de calor, que é a quantidade de calor transferido por unidade de área por unidade de tempo, é facilmente determinada a partir da lei que relaciona o fluxo de calor ao gradiente de temperatura.

Para Joseph Fourier (1822) fazendo uso da lei empírica da condução de calor baseada em observações experimentais de Biot, a lei de transferência de calor estabelece que a taxa de fluxo de calor por condução em uma dada direção é proporcional à uma área normal a direção do fluxo e ao gradiente da temperatura naquela direção, sendo estabelecida matematicamente assim:

$$Q = -KA(dT/dX) \text{ ou } q = Q/A = -K(dT/dX) \quad (65)$$

Onde a constante de proporcionalidade K é a condutividade térmica do material, q é a velocidade da condução de calor na área A da seção normal ao fluxo.

CAPÍTULO III

III. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O prato da experiência é uma chapa de acrílico transparente com dimensões de 21.5 cm × 78.6 cm de área e espessura de 0.32 cm. Na sua extremidade, acoplou-se um vertedor de pvc com diâmetro interno de 3.15 cm cujo deslocamento vertical é regulável, permitindo desta maneira o controle da camada líquida que escoar sobre o prato.

Para manter a regularidade da pressão sobre o prato acoplou-se um reservatório também de acrílico de forma vazada por onde o gás (ar) entra proveniente de três compressores e do compressor geral do laboratório conectados por uma tubulação de pvc tipo Y, sendo o ar comprimido controlado por um redutor de pressão tipo RECORD, permitindo desta maneira a uniformização da distribuição do fluxo gasoso.

Para o controle interno da pressão neste reservatório foram acoplados dois manômetros em forma de U, sendo um próximo a superfície do prato e o outro mais abaixo do reservatório.

Para manter a regularidade do fluxo do líquido na parte superior do prato, foi acoplado uma tampa de 19 cm de altura. A sua lateral reservada para a alimentação do líquido, contém uma placa com altura variável, que atua como uma represa, garantindo um escoamento uniforme do líquido acima do prato.

Para vedação perfeita do sistema, a junção entre as chapas de acrílico, foi feita por intermédio de fitas de borracha.

Construiu-se válvulas retangulares em aço inoxidável com dimensões 3 × 4 cm² de área, sustentadas por hastes cilíndricas inoxidável com comprimento de 3.5 cm, constituindo os pés das válvulas, permitindo desta feita um deslocamento variável através dos dois pequenos orifícios. Nas extremidades das hastes foram colocadas anéis de borracha, limitando nesta circunstância o deslocamento das válvulas. Ao todo, o prato de experiência fez-se constituir por 15 válvulas distribuídas em três linhas de 5.

O conjunto de perfurações totaliza oito em todo prato, colocado na parte intermediária de cada grupo de quatro(4) válvulas, tendo cada conjunto sete(7)

perfurações, arranjadas em forma exagonal centrada. O diâmetro da perfuração central é de 3.17 mm e os diâmetros das perfurações laterais são de 2 mm.

Esquemáticamente, as três partes supracitadas que formam o sistema simulando o estágio ou um prato da torre de destilação é apresentada no apêndice A.

Este prato apresenta uma versatilidade de poder operar como prato perfurado, valvulado ou misto bastando com isso isolar as perfurações ou válvulas existentes com uma fita adesiva.

3.2 - EQUIPAMENTOS DE APOIO

Para o funcionamento desta experiência usando o prato de destilação para a obtenção de dados experimentais, foram agregados ao sistema os seguintes equipamentos:

- 1(um) - Compressor trifásico

Modelo: JOMAR

Tipo: FT1

Potência: 3/4 C.V.

Rotações: 3600 R.P.M.

Amperagem: 2 Amp

- 2(dois) - Compressores trifásicos

Modelo: JOMAR

Tipo: FT2

Potência: 1 C.V.

Rotações: 3600 R.P.M.

Amperagem: 2.2 Amp.

- 1(um) Motor de indução acoplado ao compressor

Tipo: WEG

Modelo: 112M - 688

Potência: 7.5 C.V.

Rotações: 1720 R.P.M.

- Compressor de ar comprimido (central)

Tipo: SCHULZ

Modelo: MSV 20/350

Volume: 854 cm³

Pressão máxima: 175 lib/pol²

Rotações: 670 R.P.M.

Potência: 5 C.V.

- Rotâmetro para a medição da vazão do líquido(água)

Tipo CALQ FLO

Made in USA

- Rotâmetro para a medição da vazão do ar

Tipo CALQ FLO

Made in USA

- Redutor de pressão de ar comprimido

Tipo Record

Pressão máxima 6 Kgf/cm²

- Manômetro de vidro com água no seu interior

para a medição da pressão interna do sistema (tipo U)

- Termopar

Milivoltímetro

Modelo 2000, Engro

- Banho termostático, com agitador

Modelo 112/1, Fanen

Potência 1000 Kw

- Serpentina de cobre

3.3 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para o estudo do prato misto (valvulado e perfurado), empregou-se o sistema bifásico envolvendo as fases líquida (água), e gasosa (ar), gerada pelos três compressores em série e pelo compressor central. A alimentação do líquido foi feita a partir de um reservatório mantido a uma altura definida permitindo que a sua chegada sobre o prato fosse por ação da gravidade. Seu fluxo na chegada foi controlado por uma válvula conectada a um rotâmetro regulando a vazão.

O prato foi construído versatilmente, oferecendo a possibilidade de se trabalhar com diversas configurações a destacar:

- a) Prato valvulado com válvulas tipo* A (PVA)*
- b) Prato valvulado com válvulas tipo B (PVB)*
- c) Prato valvulado com válvulas tipo C (PVC)*
- d) Prato valvulado com válvulas tipo D (PVD)*
- e) Prato perfurado com um furo (PP1F)*
- f) Prato perfurado com dois furos (PP2F)*
- g) Prato perfurado com três furos (PP3F)*
- h) Prato perfurado com quatro furos (PP4F)*
- i) Prato perfurado com cinco furos (PP5F)*
- j) Prato perfurado com seis furos (PP6F)*
- k) Prato perfurado com sete furos (PP7F)*
- l) Prato misto: válvulas + 1 furo (PMV1F)*
- m) Prato misto: válvulas + 2 furos (PMV2F)*
- n) Prato misto: válvulas + 3 furos (PMV3F)*
- o) Prato misto: válvulas + 4 furos (PMV4F)*
- p) Prato misto: válvulas + 5 furos (PMV5F)*
- q) Prato misto: válvulas + 6 furos (PMV6F)*
- r) Prato misto: válvulas + 7 furos (PMV6F)*

Estas configurações foram obtidas mediante o isolamento de certas perfurações ou válvulas com fita adesiva.

**O tipo de pratos corresponde ao peso das válvulas utilizadas para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos no prato. Número de furos corresponde ao número de perfurações abertas.*

No conjunto de pratos mistos trabalhou-se também com a variação do peso das válvulas como destacado nos itens a), b), c), e d) para pratos valvulados, cujas características de pratos serão referenciadas mais adiante.

Definida a configuração do prato, efectivava-se a medição dos parâmetros hidrodinâmicos em estudo, destacando-se os gradientes de pressão no prato seco e irrigado, respectivamente ΔP_s e ΔP_{g-1} , mediante variação da vazão do gás (10.04 a 52.47 m³/hora), altura do líquido sobre o prato (1 a 5 cm) e a vazão do líquido que se manteve constante durante a pesquisa.

Quando ocorria a variação da vazão do gás para a obtenção das medidas de queda de pressão no prato seco, esperava-se a estabilidade total do flutuador do rotâmetro, indicando desta feita a estabilização da vazão do gás para cada nova medida que se fazia.

Para pratos molhados, a ocorrência era simultaneamente registrada, destacando-se também a variação do acúmulo do líquido sobre o prato, com a altura do vertedor. Assim, trabalhou-se com cinco alturas diferentes, situadas entre 1 a 5 cm como referenciado anteriormente.

Para cada configuração, procurou-se investigar a influência dos parâmetros abaixo relacionados sobre o gradiente de pressão do prato irrigado denominadamente:

- .Altura do líquido sobre o prato
- .Vazão do gás
- .Vazão do líquua

Quando deste estudo, outro parâmetro destacado foi o peso das válvulas para pratos valvulados e mistos. Numa dada configuração, modificando-o e gerando novo tipo de pratos a destacar:

- a) Pratos mistos válvulas A + n furos (PMVAnF)
- b) Pratos mistos válvulas B + n furos (PMVBnF)
- c) Pratos mistos válvulas C + n furos (PMVCnF)
- d) Pratos mistos válvulas D + n furos (PMVDnF)

Onde n varia de 1 até 7 furos

Para pratos valvulados, houve destaque nas referências iniciais.

Com estas configurações, obteve-se novas medidas hidrodinâmicas da variação da queda de pressão no prato molhado $\Delta P_{g,l}$. Para esta ocorrência, variou-se a vazão do gás e a altura do líquido sobre o prato. A variação da vazão de gás foi controlada por uma válvula de passagem de ar dos três compressores em série e um redutor de pressão tipo record que controlava a vazão do ar comprimido vindo do compressor central; A vazão foi observada através de um rotâmetro quando antes o ar era misturado. Assim a diferença de pressão foi similarmente interpretada por um manômetro de água.

3.3.1 - METODOLOGIA APLICADA PARA O ESTUDO DO PERFIL DA TEMPERATURA

Para o estudo do perfil da temperatura ao longo do prato, fez-se uso do mesmo equipamento que determinou os parâmetros hidrodinâmicos, adaptando-se ao sistema uma serpentina mergulhada em banho maria que objetivava o aquecimento da água a temperaturas de até 50 °C, devidamente controlados por um termômetro de mercúrio.

Na saída da água para a alimentação do prato, foi conectado à tubulação um tubo de cobre na forma de serpentina, passando pelo banho maria. Na sua extremidade seguinte, fixo um tubo de plástico que encaminhava a água já aquecida para a represa (alimentação).

Para o estudo da variação da temperatura ao longo do prato, era fixada a altura do líquido desejada sobre este, e com a estabilização da temperatura ao seu percurso, fixava-se a vazão do gás de operação e por intermédio de um termopar com os bornes no prato e no banho maria, media-se as diferenças de temperatura com a variação sucessiva do borner do termopar no prato. Estas medidas foram lidas em milivolts e posteriormente traduzidas em °C.

Depois de lidas as temperaturas ao longo do prato, alterava-se a vazão da fase gasosa e depois de um certo tempo de residencia ou estabilização voltava-se ao procedimento anterior.

Estas medidas foram lidas de menores vazões da fase gasosa para maiores vazões, com intervalos de 5 minutos entre uma vazão e outra.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer desta pesquisa, visando o estudo de um prato misto, partindo dos seus percursos (perfurados e valvulados), investigou-se a influência das vazões de gás, da altura do líquido que escoar sobre o prato, do peso das válvulas e do número de orifícios sobre os parâmetros hidrodinâmicos tais como ΔP_s , ΔP_{g-l} e o coeficiente de arraste.

Constatou-se visualmente a ocorrência de certos fenômenos físicos realizáveis no ato da pesquisa, a destacar:

1. - O líquido escoar com maior frequência nas partes laterais do equipamento limitado entre a zona de borbulhamento e as paredes do tanque do equipamento.
2. - Este escoamento aumenta proporcional com altura do líquido que escoar sobre o prato, diminuindo com a diminuição da vazão do líquido.
3. - Com o aumento da vazão do gás, ocorre a formação crescente de espuma que atinge até 4 cm, quando a altura do líquido sobre o prato é máxima (5 cm) e reduz na proporcionalidade de 1 cm quando esta é reduzida.
4. - Quando se trabalha com baixas alturas de líquido sobre o prato (1 e 2 cm) e com vazões altas de gás ocorre uma projecção do líquido, alcançando desta forma a parte externa do prato.

4.1 - PRATOS PERFURADOS

4.1.1 - PRATOS PERFURADOS SECOS

Quando da realização desta experiência, os dados coletados foram agrupados na Tabela 01, referenciando a variação da vazão do gás e o número das perfurações com a variação da queda de pressão no reservatório de acrílico evazado. Estes últimos dados medidos por intermédio de um manômetro de H_2O , foram usados para a construção do Figura nº 17, obtendo também os coeficientes

de arraste para os demais tipos de pratos. Por intermédio de programa de regressão linear, levou-nos aos resultados referenciados no Quadro seguinte:

QUADRO 01

PRATO	Coef. da curva (a)	Índice da curva(b)	r
PP1F	3.5879164	4.34307×10^{-2}	0.9383430
PP2F	2.0916309	5.02512×10^{-2}	0.9605761
PP3F	1.517458	5.15658×10^{-2}	0.9643896
PP4F	1.1797962	5.505632×10^{-2}	0.9688405
PP5F	0.8663846	5.21196×10^{-2}	0.9627016
PP6F	0.6805665	5.28756×10^{-2}	0.9640540
PP7F	0.5549914	5.525789×10^{-2}	0.9523194

FONTE: Programa de cálculo de mínimos quadrados FORTRAN

Estes representam a relação geométrica sugerida de forma a relacionar os parâmetros envolvidos nas análises para diversos tipos de pratos utilizados. Esta relação leva em consideração o coeficiente da curva e a variação do gradiente de pressão através da expressão:

$$\Delta P_s = a \times G^b \quad (66)$$

Quanto ao expoente *b* contido na expressão proposta da queda de pressão, este apresenta uma certa diminuição, sem maior significância para os pratos PP5F, PP6F e PP7F, quando comparado com o crescimento apresentado pelas configurações anteriores, visto apresentarem maior área ativa o que proporciona melhor distribuição do ar (fase gasosa) sobre o prato.

Observa-se o crescimento intenso entre os pratos PP1F e PP2F quando ocorre o aumento da área ativa seguido da diferenciação do diâmetro das perfurações.

O fator cresce ainda para PP3F e PP4F, caracterizada pela distribuição aleatória das perfurações sobre o prato.

Esta diferenciação do fator b é consequência da má proporcionalidade na repartição do vapor(ar) sobre o prato e na não uniformização dos diâmetros das perfurações.

Pesquisadores como Arnold et alii(1952) quando relacionavam a queda de pressão num prato perfurado como função da velocidade do ar no orifício, encontraram uma expressão propícia para esta referência matemática assim sugerida:

$$\Delta P_s = K \times V_0^{1.8} \quad (67)$$

Nesta conformidade, a velocidade no orifício pode ser expressa como a relação entre a vazão volumétrica do gás com a área total das perfurações contidas no prato;

$$V_0 = Q_v / A_h \quad (68)$$

Para se elucidar este fato, construiu-se um quadro testando esta afirmação, tendo-se com isso observado que, com o aumento da área ativa (área com perfurações abertas) a velocidade do gás diminui proporcionalmente. A maior intensidade é registrada quando ocorre a variação do tamanho das perfurações; isto é dos pratos PPIF para os pratos PP2F, onde ocorre maior significância na variação do diâmetro das perfurações. Graficamente, a ilustração revela maior distância entre as curvas destes pratos comparadas com as demais.

A velocidade de gás (Eduljee-1976) nas perfurações também diminui na mesma proporcionalidade da diminuição da vazão de gás. Veja no quadro seguinte estas afirmações;

QUADRO 02

$Q(m^3/h) \setminus V_0(m/s)$	PP1F	PP2F	PP3F	PP4F	PP5F	PP6F	PP7F
52.47	231	165	129	106	89	77	68
42.89	189	175	105	86	73	63	56
33.31	147	105	82	66	57	49	43
25.72	113	81	63	52	44	38	34
18.25	80	58	45	37	31	27	24
14.145	62	45	35	28	24	21	18
10.04	44	32	25	20	17	15	13

FONTE: Aplicação dos dados práticos a equação de Eduljee

Para se avaliar o coeficiente do orifício, fez-se uso dos dados práticos da queda de pressão aplicando-os a Equação(6) de Eduljee(1946), tendo-se construído o gráfico da Figura(2). Assim observou-se o seguinte comportamento:

a) Existência de uma forma gráfica comportada em termos da variação do número das perfurações, isto apesar da sua não total uniformidade quanto às curvas constituintes. Dos dados obtidos a partir da Equação (6), constatou-se uma variação do coeficiente do orifício de 0.280 a 1.089 para todos os tipos de pratos perfurados secos, como consta no quadro seguinte:

QUADRO 03

$V_0 \setminus C_o$	PP1F	PP2F	PP3F	PP4F	PP5F	PP6F	PP7F
191.7	0.546	0.592	0.664	0.767	0.867	0.961	1.089
156.7	0.482	0.546	0.627	0.722	0.824	0.907	1.002
121.7	0.422	0.487	0.572	0.665	0.739	0.844	0.928
94.0	0.366	0.461	0.521	0.613	0.699	0.758	0.835
66.7	0.317	0.392	0.453	0.523	0.593	0.669	0.739
51.7	0.309	0.375	0.444	0.496	0.573	0.650	0.702
36.7	0.280	0.352	0.407	0.461	0.546	0.610	0.700

FONTE: Aplicação dos dados práticos à equação de Eduljee.

b) Quanto menor a quantidade de perfurações, maior a queda de pressão e menor o coeficiente de orifício, o que pode demonstrar que existe uma proporcionalidade de crescimento deste coeficiente com o aumento do número de orifícios.

Assim, pode-se afirmar que quanto maior a área ativa maior será o coeficiente de orifício.

c) Quando da aplicação da equação de Eduljee(1946), constatou-se certas limitações para o prato perfurado pois este não apresenta uma distribuição uniforme de perfurações na área total da bandeja.

Quando do seu estudo, Eduljee(1946) comparou os dados experimentais aplicando-os a equação (6) para a queda de pressão no prato seco observando um erro de 3% e 20% para a queda total. Ele considerou o desvio adequado dado o tipo de configuração da coluna.

d) Pode-se com isso dizer que a aplicabilidade desta equação com menor erro é função do tipo de equipamento, isto é levando-se em consideração a boa distribuição das perfurações sobre o prato.

4.1.2 - ANALOGIA DA EQUAÇÃO PROPOSTA

Para o estudo da queda de pressão num prato perfurado seco, a nossa pesquisa revelou a grande influência da vazão de gás e do nº das perfurações sobre os parâmetros hidrodinâmicos, observando-se a proporcionalidade do seu aumento com a vazão e a sua desproporcionalidade com o aumento do número das perfurações sobre o prato. Os dados utilizados para a determinação desta equação constam na Tabela 01. As equações propostas na literatura não revelam esta relação com o segundo parâmetro, cuja relação nossos estudos averiguaram. Assim, para maiores análises, fez-se uso de subrotinas existentes na biblioteca do computador e com elas ajustado os dados laboratoriais a equação proposta, gerando valores de queda de pressão compatíveis. No mesmo, gerou-se os seus coeficientes e expoentes correspondentes, tendo-se detectado um erro médio de 7.5% em relação aos dados práticos, gerando com isso a seguinte equação:

$$\Delta P_s = \frac{3.41356 \times G^{1.17674}}{N_p^{0.63409}} \quad (69)$$

Nesta equação, observamos que quando aumentarmos a vazão de gás, a queda de pressão aumenta na mesma proporcionalidade e diminui com o aumento do número das perfurações. Em função desta equação os dados práticos foram a ela ajustados de forma a demonstrar as relações citadas. As nossas análises e observações levaram-nos a obtenção de erros negativos e positivos quando da comparação individual dos dados, justificando as oscilações que permitiram a obtenção de erros médios menores. A interpolação gráfica da vazão x queda de pressão demonstrou um crescimento linear, confirmando as deduções teóricas existentes na literatura. Para mais detalhes estão presentes um trecho dos parâmetros utilizados e obtidos no quadro seguinte:

QUADRO 04

$Q(m^3/h)$	N_p	$P_{prático}$	$P_{ajustado}$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
18.250	2	6.40	5.7556
14.250	2	4.20	4.2646
10.040	2	2.40	2.8490
52.470	3	18.40	15.4220
42.890	3	13.80	12.1650
33.310	3	10.00	9.0351
25.720	3	7.20	6.6647
.	.	.	.
.	.	.	.

FONTE: Subrotina PARAM da biblioteca do IBM.

Pode-se com isso observar que a desproporcionalidade em termos de ajuste à equação citada não é tão acentuada.

4.2 - PRATOS PERFURADOS MOLHADOS

Seus dados experimentais estão apresentados nas Tabelas 02,03,04,05 e 06, respectivamente, mostrando a variação da vazão do gás (ar) com a variação do número das perfurações, com a altura do líquido constante.

Um dos fatores de maior influência na performance de um prato perfurado molhado, é a altura do líquido sobre o prato, pois a sua presença na superfície do prato proporciona um aumento na queda de pressão. Para o estudo da influência deste parâmetro sobre ΔP_{g-1} , trabalhou-se durante a coleta de dados com 5 (cinco) alturas diferenciadas de líquido, isto é de 1 cm a 5 cm.

Numa tentativa a priori de se descobrir a influência da variação da vazão do líquido sobre a queda de pressão, notou-se uma insignificância deste parâmetro pois o acúmulo do líquido sobre o prato era determinado simplesmente pela altura do vertedor. Como se trabalhou com baixas vazões, a sua diminuição ou aumento, levou a uma simples sobreposição de pontos no gráfico, o que não permitiu melhores análises.

Levando em consideração ao estudo feito por Francis(1951), analisou-se o parâmetro C_f (coeficiente de represa de Francis), tendo-se gerado em função da equação (22) os seguintes dados.

QUADRO 05

$Q(l)\backslash C$	5 cm	4 cm	3 cm	2 cm	1 cm
32.23	0.49	0.39	0.30	0.20	0.10

FONTE: Uso da Equação 22 para a determinação do coeficiente de Francis.

Visto os nossos estudos terem sido feitos com o uso de uma vazão única do líquido, como relatado nos parágrafos anteriores, observa-se que o coeficiente de represa de Francis diminui com a diminuição da altura do líquido sobre o prato. Isto demonstra a influência da quantidade de líquido sobre o prato nos estudos dos parâmetros hidrodinâmicos. As relações teóricas contidas nestes estudos revelam a influência de vários parâmetros na queda de pressão em um prato perfurado, realçando:

$$\Delta P_{g-l} = f(H, G, NP, h_w, h_{fa}, h_{ow}) \quad - (70)$$

A nossa pesquisa explorou intensamente estes fatores, tendo os resultados da sua influência contidos no capítulo de tabelas.

Para o ajuste de dados gráficos, levou-se em consideração a influência da vazão do gás, nº das perfurações e a altura do líquido sobre o prato como principais parâmetros na variação da queda de pressão, assim:

$$\Delta P_{g-l} = f(H, G, N_p) \quad (71)$$

Para se determinar as vazões mínimas limites da fase gasosa, fez-se um estudo antecipado de forma a evitar o fenômeno de gotejamento que ocorre a baixas vazões do gás. Observou-se que, mesmo estabelecida a vazão mínima para PP1F, esta vazão teria um crescimento quando se desejasse trabalhar com PP2F e um acréscimo ainda maior quando se desejasse trabalhar com PP3F, e assim sucessivamente.

Por isso, houve a necessidade de vazões mínimas do gás para cada tipo de prato molhado, pois o fenômeno de gotejamento aumenta com o aumento do número de orifícios. Para se evitar este transtorno, fixou-se uma vazão mínima de operação, que atingiu as necessidades de todo tipo de pratos independentemente da altura do líquido ou do número de perfurações.

Além de mais, este fenômeno também se faz sentir quando aumentado a altura do líquido sobre o prato, observando-se uma maior massa do líquido (coluna do líquido) sobre a perfuração capaz de superar a pressão gerada pela vazão do gás.

Para uma dada vazão do líquido, aumentos progressivos da vazão do vapor(ar) provocam o arraste de quantidades crescentes de líquido na direção de topo, até que o escoamento descendente de líquido torna-se impossível. A retenção de líquido na coluna aumenta, bem como a perda de carga e praticamente todo o líquido alimentado é arrastado pelo vapor. Este é o fenômeno de inundação por arraste, que não foi explorado nesta pesquisa.

O contacto entre as fases líquida e vapor é muito eficiente por causa da agitação vigorosa das fases, provocada pelo borbulhamento do gás e, além disso, a área interfacial é renovada cada vez que o gás borbulha através do líquido. No decorrer deste processo, observou-se a formação de uma camada de espuma para

os pratos PP4F, PP5F, PP6F e PP7F. Enquanto isto, quando se trabalhou com PP1F, PP2F e PP3F a interação entre as fases era através de regime de jatos sem a formação de espuma.

A estabilidade de uma placa como função da uniformidade da distribuição de vapor foi questionada sem maior destaque. Realça-se contudo que, ela ocorre quando cada perfuração recebe em termos proporcionais a mesma quantidade de vapor.

Um dos fatores de maior influência nestes tipos de pratos é o fator β (coeficiente de aeração) que aumenta com a diminuição da velocidade da fase gasosa na superfície do prato. Fazendo-se uso dos dados obtidos experimentalmente e da Equação (25), obteve-se os seguintes dados para β e φ_a (densidade relativa de espuma), conforme o quadro seguinte:

QUADRO 06

$V \times \rho_v^{1/2}$	β	φ_a
4.21	0.5805	0.161
3.21	0.5823	0.1646
2.52	0.5874	0.1748
1.79	0.6039	0.207
1.39	0.6256	0.2512
0.085	0.6669	0.3338
00.00	1.00	1.00

FONTE: Uso da equação proposta por Fair para correlacionar o coeficiente.

Para o cálculo de φ_a fez-se uso da Equação (27), gerando um desvio médio de 3.33% para β e 6.2% para a densidade relativa da espuma (φ_a). Para maior relevância, com os dados do quadro acima.

4.2.1 - ANALOGIA DA EQUAÇÃO PROPOSTA

Para estes pratos foi acrescido o parâmetro H (altura do líquido sobre o prato) revelando também a influência dos demais parâmetros, como a vazão de gás, número das perfurações em relação a queda de pressão. Dos dados utilizados estão contidos nas Tabelas 02, 03, 04, 05 e 06, respectivamente.

Das nossas análises comparativas observamos um desvio menor em relação aos pratos perfurados secos, fixando-se na faixa de 6.2% em relação aos dados práticos laboratoriais. Este proporcionou uma sequência oscilante de novos valores ajustados a seguinte equação:

$$\Delta P_{g-l} = \frac{1.80401 \times G^{0.82571} \times H^{0.09764}}{N_p^{0.57823}} \quad (72)$$

Quando da obtenção dos dados práticos, observamos numa visão ampla que a variação do parâmetro hidrodinâmico em estudo é função dos parâmetros presentes na equação, cujo desenvolvimento numérico levou-nos a obtenção dos coeficientes ajustantes, tais como $X(1)$, $X(2)$, $X(3)$ e $X(4)$, sendo $X(3)$ valor negativo que justifica a desproporcionalidade da queda de pressão com o número das perfurações. $X(1)$ representa o coeficiente de inclinação, demonstrando desta vez menor quando comparado com este nos pratos perfurados secos, justificando a influência da camada líquida sobre o prato cujo expoente é representado por $X(4)$ e o da vazão por $X(2)$. Estes últimos valores demonstram a proporcionalidade direta da queda de pressão num prato perfurado molhado.

O quadro seguinte ilustra o trecho da relação entre a queda de pressão dos dados laboratoriais e a queda ajustada a equação proposta.

QUADRO 07

$Q(m^3/h)$	N_p	H	$P_{prático}$	$P_{ajustado}$
.
.
.
18.250	7	1.0	3.60	6.4420
14.250	7	1.0	2.40	5.2197
10.040	7	1.0	1.60	3.9330
52.470	1	2.0	42.89	50.8150
42.890	1	2.0	31.80	34.9010
33.310	1	2.0	28.40	28.1910
25.720	1	2.0	25.00	21.3620
.
.

FONTE: Uso da subrotina PARAM do IBM para ajuste de dados práticos.

Este trecho de dados revela quão significante são os nossos dados ajustados e como se tornam oscilantes quando comparados com os dados laboratoriais.

Os gráficos revelam a linearização dos dados teóricos, cuja inclinação é mais acentuada do que a dos pratos perfurados secos, Figura(22).

4.2.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

4.2.2.1 - GENERALIDADES

Para a estimativa do perfil de temperatura sobre o prato perfurado, iniciou-se, fazendo análises que relacionam a vazão do gás, número das perfurações e a altura do líquido sobre o prato com a variação da temperatura ao longo deste. Considerando primeiro a vazão do gás e a altura do líquido sobre o prato constantes, isto é, trabalhando-se nos limites máximos da altura do líquido sobre o prato, e vazões mínimas, variando o número das perfurações e medindo-se as temperaturas ao longo do prato, constatou-se que, devido ao impacto de borbulhamente na zona de operação, menor percentagem de líquido tem passagem

por esta, causando reduções bruscas de temperatura na parte central do prato. Esta redução é registrada com maior intensidade devido a característica vertical da vazão do gás no líquido. Assim a maior parte do líquido tem a passagem direcionada pelas laterais do prato, conservando ao longo do percurso a mesma temperatura.

Logo após a saída da represa, o líquido sofre o impacto do borbulhamento, sendo assim, parte dele retorna à represa com a formação de um ciclone, outra parte passa pelas laterais do prato e a menor quantidade em termos volumétricos passa pela zona de operações.

Nas partes laterais do prato, a temperatura é praticamente conservada, pois não ocorre transferência de calor com a mesma intensidade a do centro, e a ligeira diminuição da temperatura que se detecta é função da fuga do líquido de menor temperatura do centro do prato para as partes laterais onde não existe borbulhamento. Esta observação foi feita como bases nas observações da variação da temperatura ao longo do prato, incluindo as laterais do prato.

Depois da passagem pela zona de operações, ocorre um novo contacto entre a água vinda das laterais do prato e a vinda do centro do prato, gerando assim um aumento de temperatura na descarga (vertedor). Este aumento é devido ao contacto entre o líquido quente com a passagem pelas laterais e o líquido frio que sofreu a transferência de calor. Este fenômeno ocorre com maior intensidade quando o prato possuir nos seus conjuntos 2 a 6 perfurações abertas, nas condições predefinidas acima.

No decorrer desta experiência para que a temperatura se conservasse constante no banho maria, a vazão do líquido foi mantida constante evitando com isso a diminuição da temperatura no banho maria. Nesta conformidade, a vazão de líquido foi considerada constante no decorrer da pesquisa.

Quando se trabalhou com uma perfuração, devido ao baixo impacto do gás sobre o líquido, o borbulhamento era menos intenso não causando qualquer fenômeno em relação ao fluxo do líquido sobre o prato. Assim, as quedas de temperatura foram registradas regressivamente ao longo do prato.

Para 7 perfurações abertas, o borbulhamento é muito intenso, atingindo a totalidade da área de operações, não permitindo com isso qualquer desvio do líquido para as laterais do prato. Ou melhor o líquido que sofria o desvio era atingido quando da sua passagem pela zona de borbulhamento. As temperaturas mantiveram-se a rigor o seu perfil decrescente.

Quando é aumentada a vazão do gás, este fenômeno só ocorre para PP5F e PP6F. Os demais matêm a estabilidade decrescente da temperatura ao longo deste.

Com a diminuição da altura do líquido, a troca de calor é mais intensa não causando qualquer fenômeno de reduções bruscas de temperatura no centro do prato.

O fenômeno de retorno de água à represa ocorre a todas as alturas de líquido e vazões de gás sendo mais representativo para vazões altas de gás onde a cada medida linear da temperatura ocorre uma redução acentuada do parâmetro em estudo. Segundo observações, constatou-se que este fenômeno é feito com a formação de um ciclone na faixa entre a represa e o primeiro conjunto das perfurações.

4.2.2.2 - ANÁLISES INDIVIDUAIS

O quadro seguinte ilustra as desproporcionalidades apresentadas quando da diminuição da vazão de gás e do aumento do número das perfurações no prato, conforme consta nas Tabelas 36 37 e 38. Nele pode-se observar que as diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga diminuem com a diminuição da vazão de gás para quase todas as configurações excepto para a configuração PP6F que apresenta oscilações com este parâmetro.

Contudo, observações revelam um ligeiro crescimento da diferença de temperatura para vazões mínimas de gás para as configurações PP3F e PP4F, ocasionada provavelmente pelo tempo de residência das bolhas de gás na fase líquida. As maiores trocas térmicas ocorreram na faixa de X_0 a X_{27} , isto devido ao impacto do gás na camada líquida sobre a superfície do prato.

QUADRO 08

Q(m ³ /h)	PP1F	PP2F	PP3F	PP4F	PP5F	PP6F	PP7F
52.470	---	---	3.70	3.51	1.76	1.76	1.57
33.310	----	----	3.32	2.34	1.17	0.39	0.59
18.250	----	2.55	2.35	2.16	1.18	2.74	0.40
10.040	3.14	1.96	2.55	2.55	0.79	2.35	0.29

FONTE: Calculado em função das diferenças de temperatura dos dados laboratoriais.

Para se averiguar a importância da camada líquida, estudos foram feitos com altura inferior desta sobre o prato, isto é com 3 cm de espessura.

Para esta, dos seus dados obtidos foi gerado o quadro seguinte, podendo-se afirmar que as diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga diminui com a diminuição da vazão de gás excepto para a configuração PP5F onde ocorre oscilação deste parâmetro.

As maiores trocas térmicas ocorrem ao longo do prato na faixa entre X_0 a X_{17} , ocasionada pelo retorno da camada líquida oriunda do centro do prato para a represa.

Uma análise geral revela que para a altura máxima do líquido sobre o prato as maiores trocas ocorrem para a configuração PP4F e para as menores altura do líquido ocorrem para PP5F.

Veja o quadro seguinte:

QUADRO 09

Q(m ³ /h)	PP1F	PP2F	PP3F	PP4F	PP5F	PP6F	PP7F
52.470	---	---	3.51	4.49	3.12	4.30	5.08
33.310	----	3.69	2.73	2.53	2.16	3.12	3.51
18.250	----	2.94	2.35	1.77	2.55	1.96	1.76
10.040	4.51	1.96	1.76	0.98	2.35	1.96	0.76

FONTE: Das diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga.

4.3 - PRATOS VALVULADOS

De forma a visualizar o comportamento de um prato valvulado, fez-se o estudo da influência do peso das válvulas e da altura líquido sobre o prato, determinando-se a variação dos parâmetros ΔP_s , ΔP_{g-l} e o coeficiente de arraste. A Construção de diferentes pratos caracterizada pela variação do peso das válvulas foi assim estabelecida de acordo com a Tabela seguinte:

QUADRO 10

Tipo	PVA	PVB	PVC	PVD
Peso médio das válvulas	3.5609g	4.6580g	5.7300g	6.6200g

FONTE: Medidas reais do peso das válvulas em balança analítica.

Observa-se que para cada tipo de prato construído foi caracterizado por válvulas de peso específico. Isto nos leva a afirmar que o prato tipo PVA é um prato construído unicamente por válvulas de tipo A cujo peso unitário é de 3.5609g como referenciado no quadro anterior.

4.3.1 - PRATOS VALVULADOS SECOS

Os dados obtidos para este tipo de pratos estão presentes na Tabela 07, onde pode-se visualizar a variação da vazão de gás(ar) com a variação do peso das válvulas, gerando nesta conformidade a variação do parâmetro hidrodinâmico (ΔP_s) em estudo.

Quando do aumento do peso das válvulas, observou-se um certo crescimento de ΔP_s , que está representada na Figura (19). Verificou-se um comportamento uniforme entre esses parâmetros contrariando a citação de Kafarov(1975).

Em conformidade à pesquisa laboratorial, verificou-se um crescimento de ΔP_s com a vazão do gás, cuja curva representativa deste comportamento situa-se na região I, da Figura (8), isto é, na região onde as válvulas estão fechadas. Este comportamento pode ser visto como função da baixa vazão de gás com que se trabalhou, a baixa potência oferecida pelos três compressores em série e a provável má mistura do ar gerado pelo compressor do ar comprimido e dos compressores de baixa potência. Ainda levando em consideração aos limites de operação, isto relativo à vazão do gás, a queda de pressão pode ser assim representada:

$$\Delta P_s = D + K_{vf} \times (\rho_v/\rho_1) \times V_0^2/2g \quad (73)$$

Levando em consideração à Equação (47), fez-se o ajuste por regressão linear, obtendo os seguintes valores para os coeficientes D e K_{vf}

QUADRO 11

PRATO	K_{vf}	D	r
PVA	0.05001	1.2309647	0.9938352
PVB	0.0500597	1.3102517	0.9963442
PVC	0.0471399	1.6004896	0.9970422
PVD	0.0457145	1.7027311	0.9935911

FONTE: Ajuste por métodos numéricos dos dados a equação de Bolles

Baseando-se nestes dados, poder-se-á afirmar que o coeficiente D cresce proporcionalmente com o aumento do peso das válvulas, sendo o seu maior incremento mais acentuado entre o coeficiente de PVA e o de PVB. Esta diferença é função da maior relação entre o peso das válvulas constituintes.

Levando-se em consideração ao coeficiente K_{vf} observamos uma diminuição insignificante deste parâmetro entre os pratos PVB, PVC e PVD. Esta desproporcionalidade pode ser notificada como função da distribuição do gás (ar) ao longo da zona de operação do prato e a maior tendência dos opérculos fecharem quando forem de maior peso.

O uso da Equação (47) para notificarmos estas observações é função da suposição de que num prato valvulado, seco independentemente da vazão do gás, todas as válvulas são consideradas fechadas na eminência de se abrirem (Bolles-1976) e a queda de pressão é função do peso das válvulas e da vazão ou velocidade de gás. Esta suposição levou-nos a obtenção do coeficiente de arraste muito pequeno, como justificado pelo quadro acima.

O modelo de Bolles(1976) prevê a representação de uma região em que ΔP_s é constante entre os pontos de balanço fechado e aberto. Dos dados obtidos nesta pesquisa, não foi encontrada a região com estas características comportamentais. Há possibilidades de que este tipo de comportamento previsto por Bolles(1976) sobre os pratos valvulados (PV) deve-se ao design das válvulas e do próprio prato.

4.3.1.1 - ANÁLISE DA EQUAÇÃO PROPOSTA

Para a obtenção de uma equação que ajusta a queda de pressão em função dos parâmetros estudados, influenciado na prática sua variação com o acréscimo ou decréscimo destes, propôs-se a equação relacionando estes da seguinte forma:

$$\Delta P = f(G, P_v) \quad (74)$$

A Tabela (12) revela que na prática, apesar dos diversos fenômenos que possam influenciar, a queda de pressão é função da vazão de gás e do peso das válvulas, como parâmetros mais visados nesta pesquisa para este tipo de configuração. Tendo-se trabalhado com o diâmetro das perfurações constantes na presença de um opérculo móvel com peso variável e a vazão de líquido constante, estes parâmetros não foram explorados.

A proposta de uma equação representativa avaliou os parâmetros propostos, tendo-se determinado o coeficiente $X(1)$, da equação e os expoentes de G e P_v , respectivamente $X(2)$ e $X(3)$, assim indicado:

$$\Delta P_s = 0.22435 \times G^{0.93615} \times P_v^{0.31662} \quad (75)$$

Observamos nestes pratos que a queda de pressão aumenta proporcionalmente com a vazão de gás e do peso das válvulas cujo coeficientes de inclinação é menor que o da Equação (73).

A representação gráfica dos dados teóricos com a vazão de gás gerou uma curva pouca acentuada, contrariando deste modo as análises feitas para válvulas tipo Glitsch (Bolles-1976) onde se registra três regiões de operação ao longo de um prato valvulado seco.

No decorrer destas análises, gerou-se um erro médio de 4.7%. Um trecho dos dados são representados abaixo:

QUADRO 12

$Q(m^3/h)$	P_v	$P_{prático}$	$P_{ajustado}$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
14.250	3.509	3.80	3.9873
10.040	3.509	2.60	2.8927
52.470	4.658	15.40	14.8790
42.890	4.658	11.40	12.3200
33.310	4.658	9.40	9.7240
25.720	4.658	7.00	7.633
.	.	.	.
.	.	.	.

FONTE: Ajuste de dados práticos pela subrotina PARAM do IBM.

Observa-se nestes dados que a diferença em relação aos dados ajustáveis é mínima. Isto levou a geração de um desvio menor do que o esperado.

4.3.2 - PRATOS VALVULADOS MOLHADOS

Os dados laboratoriais para este tipo de pratos estão localizados nas Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 onde se observa a variação da vazão do gás(ar) com a variação do peso das válvulas; trabalhando-se com 5(cinco) alturas diferentes de líquido, isto é de 1 cm a 5 cm, coletando com isso os dados de ΔP_{g-l} .

Nos pratos valvulados molhados, certas válvulas oscilam entre uma posição média quando se trabalha com baixas vazões de gás com camadas líquidas de 1, 2 e 3 cm. Este comportamento instável apresentado pelas válvulas, pode ser evidente através de observações visuais:

*Nos pratos com válvulas tipo A, dado o seu menor peso, as válvulas abrem para todas as vazões do gás e alturas da camada líquida;

*Para os pratos com válvulas tipo B e C, a medida que é aumentado o seu peso, a sua tendência é de permanecerem parcialmente abertas ou trepidando sobre o prato.

**Para pratos valvulados com válvulas tipo D, só se observa trepidamento dos seus opérculos, evidenciados pela baixa vazão do gás.*

Com o aumento da vazão do gás, o comportamento das válvulas (independentemente do seu peso) torna-se mais estável, apresentando um certo equilíbrio segundo observações visuais.

Em cada uma das tabelas está patente a influência da camada líquida sobre o parâmetro ΔP_{g-l} . Para análise desta questão, fez-se um estudo adequado destes gráficos construídos a partir de agrupamento de dados em uma tabela única gerando curvas paralelas distantes uma da outra por aproximadamente 1 cm, distância esta equivalente a diferença entre as alturas de líquido no prato. Isso se deve ao fato da altura da camada líquida crescer com o gradiente de pressão através do prato seco mais o gradiente de pressão necessária para aerar o líquido.

Para os pratos B, C e D, graficamente representados pelas figuras (23) e (24) através da relação $\Delta P_{g-l} \times Q$ para todas as camadas líquidas pesquisadas. As curvas não são paralelas, havendo trechos onde a distância entre elas é superior às camadas hidrostáticas do líquido. Nesses trechos, a atribuição do gradiente de pressão necessária para aerar o líquido é bem maior que no prato valvulado A.

Em cada uma das tabelas citadas no início deste capítulo está presente a influência do peso das válvulas sobre o parâmetro hidrodinâmico ΔP_{g-l} .

Como observações feitas, para qualquer altura da camada líquida sobre o prato, o aumento do peso das válvulas implica no aumento de ΔP_{g-l} , pois quando o peso é aumentado, maior é a vedação da perfuração com o opérculo móvel, retendo mais o ar no reservatório de acrílico.

À altas vazões de gás (ar) o crescimento do parâmetro ΔP_{g-l} com o peso das válvulas possuía um perfil único de variação em todos os pratos; isto é devido a uma abertura total maior das válvulas independentemente do seu peso.

Na Tabela 09 estão presentes os valores de ΔP_{g-l} coletados a 2 cm da altura do líquido, onde o maior destaque desta é a diferença de ΔP_{g-l} existente entre PVA e PVB a altas vazões do gás. Esta se deve à características de abertura apresentadas pelas válvulas isto é, devido ao seu peso diferenciado possuindo os pratos com PVB mais tendenciadas de se fecharem; esta é a característica dos pratos com válvulas de maior peso que diretamente influenciam no parâmetro ΔP_{g-l} .

Dado a vazão mínima com que se trabalhou, não foi notificado o fenômeno de gotejamento para este tipo de pratos.

O contato entre as fases líquida e vapor a baixas vazões de gás eram realizados através de jatos com pouca espuma.

As válvulas direcionam o gás horizontalmente no líquido, proporcionando uma mistura mais completa do que nos pratos perfurados simples. A medida que se aumenta a vazão do gás com o aumento do peso das válvulas, um regime de dispersão instala-se no prato, proporcionando um borbulhamento intenso com espuma e conseqüentemente um bom contacto entre as duas fases presentes.

4.3.2.1 - ANÁLISE DA EQUAÇÃO PROPOSTA

As análises feitas consoante a apresentação da equação proposta cujos dados agrupados nas Tabelas 08, 09, 10, 11 e 12, contrariam a sugestão de Kafarov que define três regiões diferentes de queda de pressão quando do seu trabalho com válvulas tipo Glitsch. A nossa pesquisa levou em consideração a queda de pressão como função direta da vazão de gás, do peso das válvulas e da altura do líquido sobre o prato, constatando-se assim, com base nesta função a afirmativa anterior.

$$\Delta P = f(G, P_v, H) \quad (76)$$

Depois de analisada numericamente, encontrou-se os valores do coeficiente $X(1)$ e os expoentes dos parâmetros contidos na função, tendo-se com isso gerado a equação seguinte.

$$\Delta P = 0.56086 \times G^{0.70526} \times H^{0.25378} \times P_v^{0.32147} \quad (77)$$

Nesta Equação (77) observamos a proporcionalidade do crescimento da queda de pressão com o aumento da vazão de gás, peso das válvulas e da altura do líquido sobre o prato, cujo coeficiente da equação é maior que o apresentado para os pratos valvulados secos.

Isto revela a influência da camada líquida sobre o prato, fator que foi acrescido para estas análises, gerando com isso uma curva menos acentuada. Relacionando os dados práticos dos dados obtidos no ajuste da equação proposta, constatamos um erro médio de 5.7% que revela mais eficiência para este tipo de configuração quando comparado com os dados anteriormente obtidos.

Para se tornarem mais representativos, está descrito um trecho destes dados:

QUADRO 13

$Q(m^3/h)$	H	P_v	$P_{prático}$	$P_{ajustado}$
.
.
.
14.145	3.0	5.730	9.00	8.4166
10.040	3.0	5.730	8.6	6.6091
52.470	3.0	6.620	22.40	22.2230
.
.
.
14.145	3.0	6.620	9.40	8.8164
10.040	3.0	6.620	9.00	6.9231
52.470	4.0	3.561	20.00	19.5860
42.890	4.0	3.561	15.40	16.9900
.
.

FONTE: Uso da subrotina PARAM da biblioteca de IBM para ajuste da equação.

Nestes, constatamos a variação dos dados práticos com o parâmetro hidrodinâmico em estudo (P) cujo valor foi ajustado a nova equação proposta gerando com isso $P_{ajustado}$.

4.3.2.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

4.3.2.2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Caracterizados pela distribuição do gás horizontalmente sobre o líquido, os pratos valvulados apresentam maior poderio de borbulhamento, mas em termos

de transferência de calor devido a tendência de abrir e fechar das válvulas, mantém uma queda de temperatura regressivamente não linear.

Para pratos com válvulas tipo A (Tabelas 39 e 40) apesar desta forma de distribuição de vapor, constatou-se a formação de ciclone e um retorno do líquido com maior intensidade para a represa. Apesar disto, à vazões altas do gás e a qualquer altura do líquido ocorre o fenômeno do desvio deste da zona de operação, passando pelas laterais do prato, carretando deste modo a conservação da temperatura nas laterais, principalmente para PVA. No centro, isto é na zona de operações a passagem do líquido ocorre com uma redução brusca da temperatura que posteriormente se eleva através de uma nova mistura entre as diversas correntes do líquido.

Quando aumentamos o peso das válvulas, este fenômeno já não ocorre, pois devido ao seu peso, há a tendência eminente do seu fechamento, reduzindo momentaneamente a vazão do gás, caracterizando o decréscimo da temperatura nas mesmas proporcionalidades do inicial.

As suas representações gráficas localizadas nas figuras 37, 38, 40, 41, 42 e 44 narram este tipo de comportamento para estes pratos.

Para vazões baixas da fase gasosa, este fenômeno não ocorre para todas as configurações, a não ser numa estabilização da temperatura ao longo do prato. A transferência de calor ocorre com maior intensidade no centro do prato proporcionando misturas na etapa final do prato entre correntes líquidas com temperaturas diferentes.

4.2.2.2 - ANÁLISES INDIVIDUAIS

Dos pratos valvulados, visando o estudo do perfil da temperatura ao longo deste, empregando-se as válvulas tipo A, constatando-se que a 5 cm da altura do líquido, a diferença de temperatura entre a alimentação e a descarga era praticamente constante para todas as vazões de gás (Quadro 14). Observa-se que a maior diferença está presente para a vazão de $33.310 \text{ m}^3 / \text{h}$ e uma estabilidade para as demais vazões.

Analisando os dados ilustrados nas Tabelas 39 e 40 fez-se o estudo das diferenças de temperatura entre os pontos de medida, tendo-se constatado que as maiores trocas térmicas ocorrem na faixa de X_0 a X_{17} .

Para visualizar o efeito da temperatura a alturas inferiores do líquido (3 cm), os dados obtidos foram analisados, tendo-se observado que ocorre um decréscimo na diferença de temperatura entre a alimentação e a descarga para vazões de até 18.250 m³/h. Na vazão seguinte, surge um aumento acentuado desta diferença justificado pela maior intensidade de retorno do líquido à represa e a constante formação de ciclone.

Analisando os dados ao longo do percurso do prato, isto é, as diferenças locais de temperatura, pode-se constatar que as maiores trocas ocorrem na faixa de X_0 a X_{17} para todas as vazões de gás, sendo mais acentuada para a vazão máxima e mínima.

Para uma maior profundidade nos nossos estudos, trabalhou-se com válvulas tipo C, isto é válvulas de maior peso, constatando-se assim a sua influência nos parâmetros em estudo. Os dados obtidos foram analisados e observado que para a altura máxima do líquido sobre o prato, isto a 5 cm de altura, as diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga foram menores em relação a configuração anterior, como consta no quadro seguinte.

QUADRO 14

Q(m ³ /h)	$\Delta T(PVA)$	$\Delta T(PVC)$
52.470	2.35	2.16
33.310	2.54	2.55
18.250	2.36	1.96
10.040	2.35	1.18

FONTE: Diferenças de pressão entre a alimentação e a descarga obtida a partir dos dados práticos nos pratos valvulados.

Estes dados revelam a influência do peso das válvulas sobre o prato valvulado, constatando-se que na vazão de 33.310 m³ / h houve um ligeiro acréscimo da diferença de temperatura em relação ao PVA. Estas relações mostram a influência da queda de pressão, pois como analisado durante os estudos dos parâmetros hidrodinâmicos, enquanto maior o peso das válvulas maior a

pressão, diminuindo com isso a vazão do ar sobre as perfurações com os opérculos móveis. Isto leva a redução das trocas térmicas no prato.

Ao longo do prato, as maiores trocas ocorreram na faixa de X_0 a X_{38} . Ocorreu o aumento da temperatura na descarga para as vazões de 33.310 e 10.040 m^3/h , causado pelo fenômeno de retorno do líquido ao centro do prato, como analisado nos pratos anteriores.

Para a analogia das perdas térmicas no prato valvulado com válvulas tipo C, agora com 3 cm de altura do líquido sobre o prato, constatou-se que as diferenças de temperaturas foram ainda maiores, isto em relação as mesmas características do prato anterior, apresentando os dados presentes no quadro seguinte.

QUADRO 15

Q(m^3/h)	$\Delta T(PVA)$	$\Delta T(PVC)$
52.470	3.71	4.5
33.310	2.15	5.29
18.250	1.37	4.31
10.040	2.75	3.92

FONTE: Diferença de temperaturas obtidas dos dados práticos.

Observa-se um acréscimo de $\Delta T(PVC)$ das vazões de 52.470 a 33.310 m^3/h , acompanhado por um decréscimo nas vazões seguintes. De todas as formas, as diferenças para PVC foram bem maiores, justificando com isto o equilíbrio da distribuição do ar ao longo de todas as perfurações, ocasionando com isso maior perda de calor ao longo do prato.

Este comportamento foi previsto por Bolles(1976) quando do estudo do prato valvulado, sobre o seu comportamento a baixas alturas do líquido, ocasionado pela sua aproximação como prato perfurado seco.

Para estas observações, constata-se que ao longo do prato, as maiores trocas de calor ocorrem na faixa de X_0 a X_{38} , identicamente a altura de 5 cm de

água, tendo em seguida apresentado o equilíbrio com poucas oscilações térmicas. Neste prato, todas as vazões tiveram um comportamento quase linear.

4.4 - PRATOS MISTOS

4.4.1 - PRATOS MISTOS SECOS

Nosso principal objetivo de estudo são os pratos mistos, oriundos da associação de pratos perfurados e valvulados. Sua performance foi avaliada sob ponto de vista dos seus percursos.

Para a coleta de dados, a vazão do gás, altura da camada líquida sobre o prato, o peso das válvulas e o número das perfurações para várias configurações constituíram as principais variáveis para o seu estudo.

Construiu-se 7 (sete) configurações diferentes, fazendo-se um estudo amplo de forma a evidenciar a influência dos parâmetros supracitados. Para isso, realça-se os tipos de pratos construídos:

a) PRIMEIRA CONFIGURAÇÃO

PMVA1F Válvula tipo A
PMVB1F " " B
PMVC1F " " C
PMVD1F " " D

b) SEGUNDA CONFIGURAÇÃO

PMVA2F Válvula tipo A
PMVB2F " " B
PMVC2F " " C
PMVD2F " " D

c) TERCEIRA CONFIGURAÇÃO

PMVA3F Válvula tipo A
PMVB3F " " B
PMVC3F " " C
PMVD3F " " D

d) QUARTA CONFIGURAÇÃO

PMVA4F Válvula tipo A
PMVB4F " " B

- | | | | |
|--------|---|---|---|
| PMVC4F | " | " | C |
| PMVD4F | " | " | D |
- e) QUINTA CONFIGURURAÇÃO
- | | |
|--------|----------------|
| PMVA5F | Válvula tipo A |
| PMVB5F | " " B |
| PMVC5F | " " C |
| PMVD5F | " " D |
- f) SEXTA CONFIGURURAÇÃO
- | | |
|--------|----------------|
| PMVA6F | Válvula tipo A |
| PMVB6F | " " B |
| PMVC6F | " " C |
| PMVD6F | " " D |
- g) SÉTIMA CONFIGURURAÇÃO
- | | |
|--------|----------------|
| PMVA7F | Válvula tipo A |
| PMVB7F | " " B |
| PMVC7F | " " C |
| PMVD7F | " " D |

O peso das válvulas A, B, C e D está discriminado no parágrafo 4.2, que trata dos pratos valvulados.

Experimentalmente, os dados hidrodinâmicos oriundos da variação dos parâmetros citados no início deste item estão presentes nas tabelas 13, 14, 15 e 16.

Para se averiguar a influência destes parâmetros com a variação da queda de pressão, construiu-se gráficos mostrando o novo perfil tomado pelas curvas ilustradas a base de pratos mistos (valvulados e perfurados).

Destaca-se que, a queda de pressão nestes é menor que nos pratos valvulados e perfurados. Com o crescimento do número das perfurações, o gradiente de pressão diminui, ocorrendo uma sobreposição de pontos quando a vazão do gás é mínima e máxima a área de contacto entre as fases. Esta estabilização ou sobreposição de pontos é função da distribuição das perfurações sobre o prato, do seu diâmetro e do peso das válvulas presentes.

Quando se trabalhou com pratos PM1F, PM2F e PM3F independentemente do tipo (peso) das válvulas, a menor quantidade de perfurações justifica a maior influência das válvulas, dando a eles características de pratos valvulados.

Para maior realce deste fato, estudos feitos por Bolles (1976) relativo a sua expressão matemática para avaliação de ΔP_s em pratos valvulados, teve a sua aplicação para pratos mistos. Os dados dos coeficientes D e K_{vf} para estes pratos estão ilustrados nos quadros seguintes:

QUADROS 16, 17 e 18

<i>Tipo</i>	K_{vf}	D	r
<i>PMVA1F</i>	0.0351325	1.0388346	0.9886801
<i>PMVA2F</i>	0.0351235	0.9153896	0.9877212
<i>PMVA3F</i>	0.0322886	0.8250631	0.9827296
<i>PMVA4F</i>	0.0312749	0.7466536	0.9794693
<i>PMVA5F</i>	0.0305956	0.6117390	0.9780355
<i>PMVA6F</i>	0.0289041	0.573291	0.9818250
<i>PMVA7F</i>	0.0290143	0.4783389	0.9825422

<i>Tipo</i>	K_{vf}	D	r
<i>PMVB1F</i>	0.0400186	1.0598736	0.9929428
<i>PMVB2F</i>	0.0368252	0.9564034	0.9892650
<i>PMVB3F</i>	0.0343440	0.8718892	0.9893748
<i>PMVB4F</i>	0.0333035	0.7761841	0.9861877
<i>PMVB5F</i>	0.0318876	0.6747190	0.9905637
<i>PMVB6F</i>	0.0304441	0.6072690	0.9802800
<i>PMVB7F</i>	0.0293719	0.5428859	0.9910063

<i>Tipo</i>	K_{vf}	<i>D</i>	<i>r</i>
<i>PMVC1F</i>	0.0354340	1.4511347	0.9913684
<i>PMVC2F</i>	0.0362117	1.2384510	0.9912896
<i>PMVC3F</i>	0.0351370	1.1141157	0.9833452
<i>PMVC4F</i>	0.0344501	1.0104132	0.9870186
<i>PMVC5F</i>	0.0333212	0.8736404	0.9914002
<i>PMVC6F</i>	0.0325230	0.7933487	0.9887554
<i>PMVC7F</i>	0.0286014	0.7982588	0.9886910

FONTE: Ajuste dos dados práticos à equação de pratos valvulados proposta por Kafaarov.

*Os quadros acima ilustram a afirmação de que os pratos mistos com poucas perfurações são mais influenciados pelas válvulas, observando-se os coeficientes obtidos no uso da equação para pratos valvulados secos, constatou-se que para o coeficiente *D* estes se aproximam dos coeficientes encontrados para pratos valvulados. Este parâmetro decresce com o aumento do número das perfurações, tendo assim a sua tendência de afastamento deste tipo de pratos; isto permitiu a geração de um prato com características diferentes da dos pratos valvulados. O coeficiente K_{vf} , apesar de ser numericamente desigual em relação ao coeficiente de arraste para os pratos valvulados, ele demonstra uma certa aproximação quando comparado com os dados obtidos para os pratos valvulados. Esta diferença registrada é função da presença das perfurações contidas no prato.*

Os resultados expostos espanham com clarevidência quão a influência do peso das válvulas está presente para pratos com menor quantidade de perfurações. Estes dados revelam que nestes pratos há a predominância do peso das válvulas assumindo assim uma característica de prato valvulado.

Existe uma discrepância destes parâmetros para os demais pratos, pois o seu coeficiente de balanço fechado possui uma variação mínima, em relação aos pratos referenciados no parágrafo anterior.

Levando-se em consideração a funcionalidade de um prato misto como prato perfurado, quando o prato este é com quase todas as perfurações abertas, como considerado anteriormente, isto é para PM5F, PM6F e PM7F, sem considerar o tipo de válvulas aplicadas, observações revelam a sua caracterização como prato perfurado, principalmente a baixas vazões de gas. Para testar este fato, fez-se o ajuste dos dados experimentais aplicando-os a equação proposta para pratos perfurados tendo gerado os seguintes valores dos coeficientes:

QUADROS 19, 20 e 21

Tipo	a	b	r
<i>PMVA1F</i>	<i>1.4392118</i>	<i>0.0349330</i>	<i>0.9685003</i>
<i>PMVA2F</i>	<i>1.1732702</i>	<i>0.0373776</i>	<i>0.9675310</i>
<i>PMVA3F</i>	<i>0.9429514</i>	<i>0.0383126</i>	<i>0.9515010</i>
<i>PMVA4F</i>	<i>0.7836682</i>	<i>0.0400749</i>	<i>0.9424136</i>
<i>PMVA5F</i>	<i>0.5706244</i>	<i>0.0436856</i>	<i>0.9399750</i>
<i>PMVA6F</i>	<i>0.5068346</i>	<i>0.0433982</i>	<i>0.9525771</i>
<i>PMVA7F</i>	<i>0.3933981</i>	<i>0.0471663</i>	<i>0.9418870</i>

Tipo	a	b	r
<i>PMVB1F</i>	<i>1.562575</i>	<i>0.0370876</i>	<i>0.9720531</i>
<i>PMVB2F</i>	<i>1.274866</i>	<i>0.0376337</i>	<i>0.9636225</i>
<i>PMVB3F</i>	<i>1.0719728</i>	<i>0.0380109</i>	<i>0.9647115</i>
<i>PMVB4F</i>	<i>0.8711505</i>	<i>0.0400584</i>	<i>0.9584526</i>
<i>PMVB5F</i>	<i>0.6965087</i>	<i>0.0416667</i>	<i>0.9640095</i>
<i>PMVB6F</i>	<i>0.5651658</i>	<i>0.0436343</i>	<i>0.9440510</i>
<i>PMVB7F</i>	<i>0.4906500</i>	<i>0.0439383</i>	<i>0.9655352</i>

Tipo	a	b	r
<i>PMVC1F</i>	2.5291014	0.0290405	0.9747152
<i>PMVC2F</i>	1.9364872	0.0323695	0.9724123
<i>PMVC3F</i>	1.5954189	0.0339727	0.9607677
<i>PMVC4F</i>	1.3500986	0.0354435	0.9653027
<i>PMVC5F</i>	1.0596981	0.0374630	0.9682334
<i>PMVC6F</i>	0.8969988	0.0389965	0.9630193
<i>PMVC7F</i>	0.8594041	0.0363769	0.9679103

FONTE: Ajuste dos dados práticos a equação de Eduljee dos pratos perfurados.

Em termos visuais, a melhor observação que se pode obter é a tendência crescente que o parâmetro b possui com o aumento do número das perfurações. Nota-se que este atinge valores numericamente aproximados aos valores encontrados para os pratos perfurados, quando se trabalhou com PM5F, PM6F e PM7F.

Para o coeficiente a seus valores numéricos estão quase que na sua totalidade, localizados abaixo dos valores do coeficiente a para PM3F.

4.4.1.1 - ANÁLISE DA EQUAÇÃO PROPOSTA

Nosso principal objetivo é averiguar e adequar os dados práticos contidos nas Tabelas 13, 14 e 15 a uma equação empírica capaz de transmitir a variabilidade dos parâmetros hidrodinâmicos estudados como função da variação da vazão de gás, número das perfurações e do peso das válvulas utilizadas na pesquisa, dando ênfase a mais um instrumento utilitário para novas pesquisas.

Nesta visão, proporcionou-nos estudos em função destes contingentes, realçando numericamente novos valores adequados a proposta.

Nesta conformidade, estes dados levaram-nos a geração destes valores teóricos com um desvio médio de 5.47% em média para todas as configurações possíveis. Pode-se realçar contudo, que neste estudo utilizou-se todo tipo de válvulas projetadas de forma a dar maior coenrência aos dados práticos e teóricos obtidos.

O quadro seguinte ilustra um trecho dos dados práticos obtidos e dos teóricos ajustados à equação que posteriormente será referenciada:

QUADRO 22

$Q(m^3/h)$	N_p	P_v	$P_{prático}$	$P_{ajustado}$
.
.
.
14.250	2	5.730	4.00	2.5729
10.040	2	5.730	2.80	1.8627
52.470	3	3.561	6.20	5.3692
42.890	3	3.561	4.60	4.4403
.
.

FONTE: Do ajuste dos dados com o uso da subrotina PARAM da biblioteca do IBM.

Eles revelam a relação entre o parâmetro hidrodinâmico em estudo com a vazão de gás, do número das perfurações e do peso das válvulas. Mais adiante estão expressos os valores numéricos da queda de pressão ajustados a equação proposta, gerando deste modo os valores dos coeficientes $X(1)$ e dos expoentes $X(2)$, $X(3)$ e $X(4)$ das variáveis G , N_p e P_v respectivamente. Para melhor expressar esta relação, está discriminado em seguida a equação gerada:

$$\Delta P_s = \frac{0.07701 \times G^{0.94226} \times P_v^{0.72941}}{N_p^{0.37631}} \quad (78)$$

Ela revela a proporcionalidade existente entre a queda de pressão, vazão de gás e o peso das válvulas com a desproporcionalidade registrada quando é aumentado o número das perfurações.

Uma relação empírica foi proposta por Vesnoskii et alii - 1979 relacionando a queda de pressão com a vazão de gás, peso das válvulas e número das perfurações como parâmetro da velocidade de ar no orifício. Este destacou a influência da densidade da fase gasosa em processo, fator que não foi realçado nestas análises. Quando comparada a nossa equação a sugerida por Vesnoskii encontramos um desvio médio de 4.74%.

Uma análise gráfica revela a relação linear entre G e P_{ajustado} , que cresce com a vazão de gás.

4.4.2 - PRATOS MISTOS MOLHADOS

Sua performance é influenciada pelas válvulas e orifícios abertos. Como nos pratos valvulados, a região de instabilidade ou oscilações das válvulas está presente a medida que é aumentado o peso destas, isto a baixas vazões de gás; nos pratos mistos, uma instabilidade surge quando é aumentada a área de contacto entre o gás e o líquido, ou melhor, o número das perfurações, dando ênfase a formação de um novo tipo de prato. Quando aumentado o peso das válvulas, a baixas vazões de gás, estas mantêm-se abertas dependentemente do número das perfurações vazantes. Quando das nossas atividades de pesquisa, observou-se que, mesmo a baixas vazões, os pratos tipo PMVA1F, PMVA2F, PMVA3F e PMVA4F, apresentavam abertura total das suas válvulas em todas as condições de operação.

Para os demais, as suas válvulas mantiveram-se fechadas, isto devido a maior área aberta representada pelas perfurações.

A amplitude e a estabilidade que as válvulas representam é função direta do aumento da vazão do gás e da camada líquida sobre o prato.

A instabilidade nos pratos PM5F, PM6F e PM7F, é mais intensa, tendo apresentado as seguintes características:

- a) Todas as válvulas não se abrem com a mesma intensidade.*
- b) Existência de válvulas fechadas mesmo a altas vazões de gás.*

Estas informações nos levam a concluir que existe predominância de caracter de pratos valvulados nos pratos mistos.

Quando aumentado o peso das válvulas, a influência da camada líquida que escoar sobre o prato, torna-se maior. As válvulas para qualquer vazão de gás, apenas trepidam para os pratos mistos B quando a altura da camada líquida é de 1 e 2 cm. Isto justifica o aumento de pressão apresentada quando é aumentado o peso das válvulas. Aumentando-se a altura do líquido sobre o prato, as válvulas apresentam aberturas maiores.

Para os pratos mistos com válvulas de maior peso, isto é válvulas tipo C, geralmente operam fechadas ou trepidando. Quando aumentada a altura do líquido sobre o prato, estas se abrem com menor intensidade. Menor intensidade de abertura apresentam ainda as válvulas tipo D, pois são de maior peso. Isto justifica que a baixas vazões de gás e a alturas máxima de líquido, as diferenças de queda de pressão são proporcionais ao peso das válvulas.

Quando aumentado a altura do líquido sobre o prato e a vazões máximas do gás, independentemente do tipo das válvulas utilizadas, estas se abrem com a mesma intensidade para pratos de até 4 furos. Aumentando a quantidade de perfurações, as válvulas apresentam oscilações. Estas oscilações são mais intensas com o aumento do peso das válvulas. Assim, os pratos com válvulas tipo D, apresentam maior queda de pressão.

Para o estudo deste tipo de pratos, construiu-se os gráficos 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35 e 36, baseados nos dados obtidos experimentalmente e contidos nas tabelas 16 até 35.

Observa-se nestas tabelas que a queda de pressão diminui com o aumento do número das perfurações e aumenta com o aumento da altura do líquido sobre o prato.

Quanto ao peso das válvulas, o aumento da queda de pressão é mais notificado; relativamente a este parâmetro, quando se trabalhou com vazões baixas de gás (ar), as válvulas de maior peso tinham mais condições de reter a pressão, devido as forças físicas que atuam sobre elas.

As curvas exibidas apresentam uma mudança de inflexão para a vazão de gás de $25.72 \text{ m}^3 / \text{hora}$, tornando-se mais alongadas a medida que aumenta a camada líquida sobre o prato. Estas características apresentadas pelos pratos mistos, tornam-se menos acentuadas ao mudar de uma configuração para outra, isto é, com o aumento do número das perfurações.

A justificativa para o comportamento mencionado acima, está na correlação de forças físicas que atuam em cada válvula. Os pesos das válvulas e da camada líquida, resultante da pressão do gás, força de atrito referente ao escoamento da mistura gás/líquido ao redor e sobre a válvula; são as forças que atuam em cada válvula.

A complexidade apresentada pela hidrodinâmica de pratos valvulados e mistos, deve-se exactamente a presença dessas correlações de forças nos pratos, fato que não ocorre para os pratos perfurados.

À medida que é aumentado o peso das válvulas, a tendência é que em vez de um sistema de equilíbrio, existe uma força resultante na direção da força peso. Como consequência, a válvula no sistema, repousa ou trepida sobre o prato, sendo a fase gasosa distribuída para a camada líquida, principalmente através das perfurações existentes. Esse comportamento, também é verificado para válvulas mais leves quando se aumenta o número de orifícios no prato, isto é, mudando-se de configuração, sendo mais acentuado com o aumento do peso das válvulas.

Analisando os dados obtidos, poderemos afirmar que:

Entre os pratos PMVA1F a PMVA4F, há um ligeiro decréscimo da queda de pressão a altas vazões de gás, ocorrendo um equilíbrio ou sobreposição de pontos quando a vazão é mínima. Para os demais pratos, isto é de PMVA5F a PMVA7F, esses decréscimo é ainda menor, ocorrendo com isso menor intensidade de sobreposição de pontos quando a vazão do gás é reduzida.

As curvas representadas por estes, são mais alongadas quando comparados com pratos perfurados ou valvulados. Com o aumento do número das perfurações, a tendência destas curvas é de se aproximarem do eixo da vazão do gás, representando assim as baixas pressões que ocorrem com o aumento da área de contato.

Existe uma similaridade de efeitos da camada líquida sobre ΔP_{g-1} para os pratos com válvulas tipo B, C, e D em relação ao apresentado pelos pratos com válvulas A, porém, as curvas apresentam uma concavidade bem mais acentuada para as configurações de 1 a 4 perfurações abertas.

Foi avaliada nesta pesquisa a influência do peso das válvulas sobre ΔP_{p-1} , isto para alturas de líquido de 1 a 5 cm, tendo-se observado:

a) Para a altura do líquido de 1 cm, a influência do peso das válvulas sobre a queda de pressão é pequena. Por serem mais leves, os pratos com válvulas do tipo A apresentam a queda de pressão bem menor e curvas bem definidas. Ocorre

cruzamento e sobreposição de curvas para os pratos B, C e D, isto devido a oscilação para todas as vazões de gás com que se trabalhou.

b) Para alturas de líquido de 4 a 5 cm, o efeito do peso das válvulas sobre a queda de pressão é mais acentuado. As curvas são mais definidas. A queda de pressão para pratos mistos com válvulas tipo A é menor, onde a tendência crescente é demonstrada com o aumento do peso das válvulas, como se previa.

Quando consultada a literatura, informações revelam que o gradiente de pressão através de um prato é dado pelo somatório de ΔP_l e ΔP_σ . Pode-se afirmar que, para uma mesma camada de líquido, quanto maior a energia, maior será a aeração do líquido, promovendo com isso a formação de espuma e melhor contato entre as fases presentes.

O fenômeno de gotejamento, está presente nos pratos mistos, oriundo dos pratos perfurados; este não foi observado nos pratos com a configuração 1, 2 e 3. Operando a baixas vazões de gás, os demais pratos apresentam este fenômeno, que se torna mais intenso com o aumento do número dos orifícios no prato.

4.4.2.1 - ANÁLISE DA EQUAÇÃO PROPOSTA

A influência da camada líquida num prato misto seco gera uma nova configuração também estudada, denominadamente prato misto molhado caracterizado pela presença de uma camada líquida variável sobre o prato.

De forma a adequar nossos estudos a esta nova configuração, foram feitas propostas equacionais relacionando os parâmetros hidrodinâmicos em estudo aos parâmetros propulsores da sua variação, tais como expressos no quadro seguinte:

QUADRO 23

$Q(m^3/h)$	H	N_p	P_v	$P_{prático}$	$P_{ajustado}$
.
.
.
14.250	5.0	7	3.6509	6.80	6.2710
10.040	5.0	7	3.5609	6.60	5.5154
52.470	1.0	1	4.6580	10.40	9.6758
42.890	1.0	1	4.6580	8.00	8.9720
.
.

FONTE: Ajuste dos dados práticos com o uso da subrotina PARAM.

Uma relação matemática foi gerada de forma a determinar o coeficiente desta e os expoentes dos parâmetros envolventes, tendo-se com isso atingido ao seguinte formato:

$$\Delta P_{g-l} = \frac{1.61930 \times G^{0.37456} \times H^{0.30302} \times P_v^{0.19776}}{N_p^{0.19388}} \quad (79)$$

Nela observamos um crescimento acentuado do coeficiente da equação, revelando com isso a influência da camada líquida sobre a queda de pressão.

O formato de erro foi utilizado de forma a determinar o desvio médio, isto em relação aos dados práticos, constatando-se na faixa de 9.2%

Dos dados agrupados no quadro anterior pode-se revelar a relação existente entre os diversos parâmetros presentes e a sua influência sobre a queda de pressão. Além de mais, diversos fatores não foram explorados nesta equação, tais como a densidade das fases presentes que de todas as formas poderiam dar mais ênfase à redução do erro presente.

A relação gráfica demonstrou a sua linearização quando a vazão de gás é relacionada com a queda de pressão dos dados teóricos. Sua configuração foi parcialmente contrária a apresentada pela literatura fato provável devido a possível ausência de outros fatores relacionais no estudo do prato com as duas fases presentes. Além de mais, leva-se em consideração a não inclusão da influência do fluxo líquido no processo que de todas as formas gera este ligeiro desvio gráfico principalmente na zona intermediária das vazões da fase gasosa onde as válvulas trepidam sobre o prato.

4.4.2.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO PRATO

O quadro seguinte ilustra o comportamento das diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga apresentada pelos pratos mistos com válvulas tipo A, ocasionada pela diminuição da vazão do gás, altura do líquido sobre o prato e pelo aumento da área de contacto entre as duas fases presentes no processo.

QUADRO 24

Q(Ar)	PM1F	PM2F	PM3F	PM4F	PM5F	PM6F	PM7F
52.470	2.35	1.77	1.76	2.55	2.35	2.97	2.39
33.310	2.16	2.56	1.37	0.57	1.96	1.77	1.96
18.250	1.58	0.79	0.59	1.37	1.37	1.57	1.17
10.040	1.96	0.59	0.98	0.78	1.78	2.16	1.57

FONTE: Das diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga dos dados práticos

Uma ligeira observação dos dados para a configuração PMVA1F, PMVA3F, PMVA5F, PMVA6F e PMVA7F, nos leva a afirmação de que com a diminuição da vazão do gás, diminui as diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga até a vazão de 18.250 m³/h, quando daí surge um ligeiro aumento para a última vazão empregada nesta pesquisa. A justificativa de que o tempo de residência das bolhas de ar no líquido demonstra esta desproporcionalidade apresentada.

Para a configuração PMVA2F, as diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga revelam uma diminuição total com a diminuição das vazões, ocorrendo um crescimento entre as duas primeiras vazões e em seguida o decréscimo.

As oscilações das diferenças de temperaturas são apresentadas pelo PMVA4F, gerado por uma acentuada diferença crescente em relação à configuração anterior, isto para a vazão máxima.

As maiores trocas térmicas ocorreram na faixa de X_0 a X_{38} para todas as configurações.

A influência da altura da camada líquida sobre o prato foi investigada, em termos de transferência de calor, constatando-se a variação da diferença de temperatura entre a alimentação e a descarga para cada configuração, com a variação da vazão de gás gerando assim os dados contidos na tabela seguinte:

QUADRO 25

Q(Ar)	PM1F	PM2F	PM3F	PM4F	PM5F	PM6F	PM7F
52.470	2.53	2.16	2.55	2.36	1.97	2.35	3.33
33.310	1.16	1.57	2.33	1.96	2.55	2.94	3.14
18.250	2.16	2.48	1.96	2.35	1.96	1.96	3.53
10.040	2.36	2.17	1.76	1.96	2.57	1.96	4.96

FONTE: Diferenças de temperatura obtida a partir dos dados laboratoriais.

Para a primeira configuração, observamos um decréscimo e conseqüente acréscimo deste parâmetro, da segunda vazão para a última. Esta diferença é muito acentuada para a vazão máxima, caracterizada pela sua própria configuração e pela tendência de proporcionar as trocas térmicas com o ar ambiente visto o intenso borbulhamento causado na zona de operação. Nas demais vazões de gás, com o aumento do tempo de residência das bolhas de ar no líquido sobre o prato, maior se torna a transferência de calor ao longo do prato.

Para as configurações PMVA2F, PMVA4F, observamos que as diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga são numericamente decrescentes para as vazões máximas e crescentes para as duas últimas, sendo mais acentuada para a vazão a 18.250 m³/h. A analogia apresentada pela configuração anterior satisfaz a priori esta realidade.

Os dados de PMVA3F e PMVA6F foram analisados, observando-se um decréscimo total das diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga com a diminuição das vazões de gás. Seus valores numéricos foram maiores para as duas vazões máximas, demonstrando maior transferência de calor e menores quando comparadas com as vazões seguintes.

A configuração seguinte, PMVA5F apresentou oscilações nas suas diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga. As menores em termos numéricos foram para as vazões máxima (52.470) e a intermediária (18.250) e as maiores sendo numericamente iguais para as demais vazões. Observa-se que as oscilações apresentadas diferem das oscilações apresentadas pela configuração anterior, sendo esta gerenciada por um acréscimo entre as vazões máximas e decréscimo entre 33.310 e 18.250 e um novo acréscimo pra 18.250 e 10.040 m³/h.

Ordens opostas são apresentadas pela configuração PMVA7F, quando comparada com a configuração anterior, pois nesta observamos um decréscimo nas diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga até a vazão de 33.310 m³/h, sendo desta a origem da inversão, isto é, crescimento.

Para todas as configurações, as trocas térmicas ocorrem com maior intensidade na faixa entre X_0 a X_{38} , isto para todas as vazões de gás.

A influência do peso das válvulas foi estudada para os pratos mistos, de forma a averiguar a sua importância em termos de transferência de calor. Para maior realce, os dados presentes foram analisados da mesma forma das análises anteriores, tendo-se deles gerado o quadro seguinte de diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga para todas as configurações e vazões de gás a altura do líquido de 5 cm sobre o prato.

QUADRO 26

Q(Ar)	PM1F	PM2F	PM3F	PM4F	PM5F	PM6F	PM7F
52.470	2.73	2.34	3.12	2.53	2.14	1.74	1.74
33.310	2.16	1.74	3.12	1.77	1.37	1.76	1.76
18.250	1.96	1.76	2.73	1.57	1.37	0.98	0.98
10.040	0.58	1.57	4.10	0.96	1.57	1.57	1.17

FONTE: Diferenças de temperatura obtidas a partir dos dados práticos.

Para todas as configurações, pode-se observar que a diferença de temperaturas diminui com a diminuição da vazão do gás. Realça-se que esta diferença é maior para vazões mínimas do gás. Ocorre uma estabilidade térmica quando diferenciado das vazões intermediárias (33.310 e 18.250) isto para todas as configurações excluindo PMVC1F.

Na configuração PMVC4F, observamos a mesma diminuição da diferença de temperatura com a diminuição da vazão de gás, mas desta vez, seus valores numéricos são menores que os apresentados pela configuração anterior.

Este fenômeno se repete para as demais configurações, mas nesta circunstância apresentando aumentos nas diferenças de temperatura entre a alimentação e a descarga para a vazão mínima da fase gasosa, condicionada ao tempo de residência das bolhas de gás na fase líquida em processo.

Podemos também observar as formas decrescentes do parâmetro em análise apresentadas pelas configurações em estudo, isto com o aumento do número das perfurações e a vazão máxima do gás, desde PMVC3F a PMVC7F. Para as vazões intermediárias e para as últimas configurações (PMVC6F e PMVC7F), observamos a estabilidade térmica entre elas.

As análises também foram feitas de forma a localizar a área de maior transferência de calor ao longo do prato, tendo-se constatado que para para todas as configurações esta situa-se na faixa entre X_0 e X_{38} .

Neste estudo, foi também analisada a influência da camada líquida sobre o prato misto com o uso das válvulas tipo C, tendo-se com isso gerado o seguinte quadro:

QUADRO 27

Q(Ar)	PM1F	PM2F	PM3F	PM4F	PM5F	PM6F	PM7F
52.470	3.51	5.06	4.09	3.51	2.92	3.51	2.54
33.310	3.51	4.49	4.89	3.32	2.93	2.93	1.55
18.250	1.96	3.91	4.32	3.72	2.36	1.73	1.18
10.040	1.18	1.87	4.43	3.12	2.15	2.35	2.77

FONTE: Das diferenças de temperaturas entre a alimentação e a descarga.

Um perfil adequado é apresentado para quase todas as configurações, pois constata-se a existência da tendência de decréscimo da diferença de temperatura quando diminuída a vazão do gás. Além de mais, nossos dados realçam a importância da reduzida fase líquida sobre o prato, justificada pelo aumento da transferência de calor, representada pelas diferenças numericamente acentuadas de temperatura entre a alimentação e a descarga.

Pode-se afirmar contudo, que nesta pesquisa, segundo observações visuais, a baixas vazões de gás (10.040), nas configurações com número de perfurações maiores que três, a taxa de transferência de calor era maior. Esta revelação pode ser constatada no quadro anterior.

Com algumas exceções, estão presentes a tendência decrescente da taxa de transferência de calor com o aumento da área de contato entre as fases em estudo.

Para estas configurações, as taxas de maior transferência de calor ao longo do prato estão situadas entre X_0 a X_{38} , sendo as faixas seguintes zonas de estabilidade térmica ou zonas de reduzida transferência de calor.

OBS:

X_0 a X_n representa a distância a partir da represa até a descarga do líquido quente ao longo do prato.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSÃO

Dos estudos da avaliação da queda de pressão e de temperatura como função da vazão de gás, número de perfurações, altura do líquido sobre o prato e peso das válvulas, mediante suposições matemáticas representativas e adequadas a estes parâmetros, conclui-se que:

- 1. A queda de pressão para os pratos perfurados é diretamente proporcional a vazão de gás, segundo a relação geometricamente sugerida e analisada:*

$$\Delta P_s = aG^b$$

- 2. A velocidade da fase gasosa nas perfurações, diminui na proporcionalidade da diminuição da vazão de gás e do aumento do número das perfurações.*
- 3. A viabilidade de aplicação da equação de Eduljee(1946) para a obtenção do coeficiente de arraste não proporciona boa eficiência para esta medida nos pratos perfurados.*
- 4. A equação proposta para os pratos perfurados secos envolve e demonstra a relação de ΔP_s com o número das perfurações e da vazão de gás, tornando-se mais eficiente em termos de generalidades de parâmetros utilizados.*
- 5. Para pratos perfurados molhados o coeficiente de represa de Francis demonstra a sua relação decrescente com a diminuição da altura do líquido sobre o prato.*
- 6. A equação do coeficiente de aeração relaciona perfeitamente este parâmetro com a densidade da espuma.*
- 7. As equações propostas para estes pratos satisfazem os levantamentos práticos, dando maior conforto aos modelos e enriquecimento da própria literatura.*
- 8. A transferência de calor ocorre com maior intensidade ao longo de todos os tipos de pratos na faixa de X_0 a X_{17} , isto devido ao impacto com a camada líquida fria oriunda da zona de operações.*
- 9. As maiores trocas térmicas ocorrem no prato com as configurações PP3F, PP6F para a altura de 5 cm e PP7F para 3 cm de altura de líquido. Para pratos mistos, a maior transferência ocorre nos pratos PMV3F.*

10. *O aumento do peso das válvulas gera um aumento da pressão, isto para os pratos valvulados e mistos.*
11. *A proposta da equação de Bolles satisfaz os dados práticos obtidos quando do ajuste por regressão linear.*
12. *Fundamental a contribuição da altura do líquido sobre o prato para que o regime de funcionamento dos pratos valvulados e mistos seja estável.*
13. *Aumento do peso das válvulas num prato valvulado proporciona seu funcionamento como prato perfurado com orifícios pequenos, independentemente das condições de operação.*
14. *O aumento do peso das válvulas e do número de orifícios num prato misto enfatiza tendência comportamental de um prato perfurado. Enquanto que a diminuição do peso das válvulas e do número de orifícios proporciona o comportamento de um prato valvulado.*
15. *Os pratos mistos apresentam valores mais baixos(inferiores) da queda de pressão quando comparados com aqueles obtidos pelos seus percursores.*
16. *Os pratos mistos possuem maior faixa de operação quando comparados com os pratos perfurados, diminuindo contudo o fenômeno de gotejamento que ocorre com maior intensidade nos pratos perfurados.*

CAPÍTULO VI

VI. SUGESTÕES

Visando melhor desempenho do equipamento utilizado, sugere-se o desenvolvimento amplo de um trabalho onde se pode ter contribuições para os seguintes itens:

- 1. Fazer um estudo de transferência de massa através de alguma substância de alta volatilidade que possa ser despreendido da mistura durante o processo de borbulhamento da camada líquida, comparando sua eficiência com diversas configurações.*
- 2. Construir um sistema em circuito fechado de forma a reaproveitar a líquido descarregado e fazer um estudo mais adequado da transferência de calor ao longo do prato.*
- 3. Modificar o design das válvulas e fazer um estudo comparativo relacionando o tipo de válvulas com a vazão de gás, isto sem alterar o seu peso.*
- 4. Ampliar o equipamento de forma a se trabalhar com dois pratos com configurações diferentes introduzindo desta vez manômetros que possam determinar as diferenças de pressão entre as configurações de trabalho.*
- 5. Usar métodos capazes de aquecer a fase gasosa antes da sua entrada no sistema, permitindo assim um estudo simultâneo de transferência de massa e de calor.*
- 6. Desenvolver um modelo adequado para o estudo da transferência de calor, dando assim oportunidade de aplicação das equações referentes a este ramo das ciências.*

CAPÍTULO VII

VII. BIBLIOGRAFIA

- 1 - BIAN, SHAOXIONG FAMING ZHUANLI SHENQING GONGKAI SHUOMINGSHU. "Low temperature rectification tower". CN 85,106,705 (Cl.B01D3/22), 09 Jul. 1986, appl. 31 Aug. 1985; 10 pp.
- 2 - BIENERT, PETER; BERNDT, KARIN; ULRICH, ALFRED, WUNDER, HEINZ (Vcb Maschinenfabrik und EisengiessereiWurzen). "Exchange plates for rectification columns". Ger (East) DD 203,824 (Cl. B01D3/22), 09 Nov. 1983 App. 234,777, 11 Nov 1981; 7pp.
- 3 - BOLLES, W.L.: *Petrol. Process.*(February, 1956), p.64;(March, 1956), 72;(May, 1956), p.109.
- 4 - BROERMAN, A. B.; MOWERY, R. A., Jr. (Appl. Autom. Inc., Bartlesville ok 74004 USA). "A new sample injection and column switching valve for liquid and gas chromatography". *J.Chromatogr. Sci.* 1981, 19(10), 508-13.
- 5 - CAIN, F. M.; BARNES, R. W.(Valtec Inc. USA) "Testing for cavitation in low pressure recovery control valves". *ISA Trans.* 1986, 25(2), 61-7 (ENG).
- 6 - CHEN, WENBING FAMING ZHUANLI SHENQING GONGKAI SHUOMINGSHU. "Floating plate with angle steel". CN 85,100,299 (Cl. B01D3/22), 10 Apr. 1986, appl. 01 Apr. 1985; 8pp.
- 7 - DODEJA, A.K.; ZAID,A.H.; BHANUMURTHY,J.L.(Natl. Dairy Res. Inst., Karnal, 132001 India). "Plate heat exchanger". *Cew, Chem.Eng. World* 1982, 17(5), 63-6.
- 8 - DUKE, EDDIE D. "Fluid Contact Plate". U.S. US 4,728,468(Cl.261-111; B01F3/04), 03 Mar. 1988, appl.886, 823, 18 Jul. 1986; 7pp.
- 9 - FAIR, J.R., and R.L. MATTHEWS: *Petrol. Refiner* (April, 1958), p. 153.

- 10 - FIDKOWSKI, Z.; KUCIEL, E. (Inst. Chem. Eng. Heat. Equip. Tech. Univ. Wrocław, 50-373 Wrocław, pol.). "The efficiencies of the distillation column plates-identification of the model". *Pap. Symp. Comput appl. Chem. Eng.* 12 th 1979, 1, 206-17. Assoc. convention manage.; Vevey, swtz.
- 11 - FOSS, A.S., J.A.GERSTER, and R.L. PIGFORD: *A.I.Ch.E.J.*, 4:231 (1958).
- 12 - GRYM, IVAN (Vyzk. Ustav Chem Zarizeni, Brno, Czech). "Built-in plates of rectification columns". *Chem. Prum.* 1983, 33(9), 460-3 (czech).
- 13 - GYOKHEGYI, LASZLO; BORONYAK, IMRE (Innofinance Al Talanos Innovacios Penzintezet). "Process end apparatus to establish contact between liquid and vapour or gas, partilarly in distillation and or absorption columns". *Eur. Pat. Appl. Ep* 234,876 (Cl.B01d3/22), 02 sep. 1987, Hu appl. 86/689, 19 Feb. 1986; 34 pp.
- 14 - HAJEK, JAROSLAV; NEPRAS, JOSEF; HUTLA, VLASTIMIL CZECH CS 257,017 (Cl.b01d3/18), 16 Jan.1986; 4pp. "Modules for assembly of plate rectification". 86/4,666, 25 Jun. 1986; 4pp.
- 15 - HRYCAK PETER (Dep. Eng. New Jersey Inst. Technol., Newark, NJ 07102 USA). "Heat transfer from round impinging jets to a flat plate". *Inst. J. Heat Mass Transfer* 1983, 26(12) 1857-65.
- 16 - HOPPE, KLAUS, FAUSCHINGER, MARTIN; KUHN, HERBERT; KULBE, BERND WOHLLEBE, GERT (Veb Chemieanlagenbaukombinat Leipzig-Gremma). "High performance concentric-ring-plate valve for trays in mass transfer columns". *Ger(East) DD* 221,640 (ClB01D3/18), 02 May 1985 appl. 259,995, 10 Feb. 1984, 10pp.
- 17 - HOEK, P.J.; ZUIDERWEG, F.J. (Lab. Process Equipment, Delft Univ. Technol. Delf, Neth). "Influence of vapor entrainment on distillation tray efficiency at high pressures". *AICHE J.* 1982, 28(4), 535-41.
- 18 - HUTCHINSON, M.H., A.G.BURON, and B.B. MILLER: "Aerated flow principle applied to sieve plates", *A.I.Ch.E. paper, Los Angeles Meeting* (March, 1949)
- 19 - KEMP and PYLE. *Chem. Eng. Progr.* 45:435 (1949).

- 20 - KISTER, HENRY Z.; HAAS, JOE R. (C.E. Braun, Inc., Alhambra, CA USA).
 "Predict entrainment flooding on sieve and valve trays". *Chem. Eng. Prog.* 1990, 86(9), 63-9.
- 21 - KOZIOL, ANTONI (Inst. Ver Fahrenstech. Waerme - Anlagen, Tech. Univ. Wroclaw, Pl-50-370 Wroclaw, pol.). "Determination of maximum gas loading in plate columns for small liquid loads". *Chem. Ing. Tech.* 1990, 62 (2), 113 - 15.
- 22 - KLER, S.; LAVIN, J. T.; ANI, C.; DAVIES, B. (Boc Cryoplant LTD., LONDON, UK). "De use low-voltage displacement tranducer to measure tray deflections". *Inst. Chem. Eng. Symp. Ser.* 1988, 104(Distill. absorpt. 1987, vol.2), B471-B477(ENG).
- 23 - KREKACS, SANDOR; PALFI, ZOLTON (Orszagos Koolojes Gazipari Troszt). "Valve for phase - contacting plate". *PCT Int. Appl. Wo* 8203, 184 (Cl. B01D3/30), 30 Sep. 1982, *Hu Appl.* 81/657, 16 Mar 1981; 18 pp.
- 24 - LANGH, TOMAS; KARAS, IVAN; PAJDLHAUS, R, LIBOR (Strojnicka fak, svst, 88031 Bratislava, czech). "Development of plate of distillation column". *Ropa Uhlie* 1980, 32(12) 666-7(SLO).
- 25 - LEVA, MAX. "Transferência de massa em pratos". *Ger. Offen. de* 3,839,159 (Cl. B01D3), 01 Jun. 1989 *GB Appl.* 87/27, 149, 19 Nov. 1987; 5pp.
- 26 - LEE, D. C.: *Chem. Eng. (may, 1954), p. 179*
- 27 - LOKETT, M. J.; AUGUSTYNIAK, J.D. (Union Carbide Ind. Gases Inc., Tonawanda, NY 14151-0044 USA). "On Tilted trays". *Chem. Eng. Res.* 1991, 69(12), 99-107 (Eng).
- 28 - LOCKETT, M.J.; SUMMERS, D.R. (Union Carbide Ind. Gases Inc., Tonawanda, NY 14151 USA). "Aspects of distillation column design for high turn-down applications in nitrogen rejection units". *Gas Sep. Purif.* 1989, 3(2), 71-4.
- 29 - LIPOWICZ, MARK (USA). "Distillation column design software". *Chem. Eng. (N.Y.)* 1987, 94(2), 167-8, 170.

- 30 - MIKITA, H.; ISHIMI, K. (Dep. Chem. Eng. Univ. Osaka Prefect.; Sakai, JAPAN). "Mass transfer from a moving interface of two immiscible fluids in laminar countercurrent flow between parallel plates". *Chem. Eng. J. (Lausanne)* 1984 28(3), 173-8.
- 31 - MCGREAVY, C.; TAN, G.H. (Dep. Eng., Univ. Leeds UK LS2 9JT) "Effect of process and mechanical design on the dynamics of distillation columns". *IFAC Proc. Ser.* 1988(4, Dyn. Control Chem. react. Distill. Columns), 181-8.
- 32 - MOLERUS, O.; KURTIN, M. (L. für Mech. Ver. der Univ. Erlangen-Nur.) "Hydrodynamics of bubble columns in the uniform bubbling regime". *Chemical Engineering, Vol. 40 Nvo 4 pp 647-652, 1983*
- 33 - MAUFIELD et al. *Ind. Eng. Chem.* 44:2238(1952).
- 34 - PARKER, BYRON M.; PARKER, TRENT J. (Uni. Frac, INC). "Vapor liquid contact tray". U.S. US 4,762,651 (Cl. 261-114.1; B01f3/04). 09 Aug. 1988, appl. 54,181, 26 May 1987; 6pp.
- 35 - PAMFIL, VIRGIL (Inst. Ing. Technol Bucharest, Rom). "Calculation of the plate number and optimum reflux of distillation columns". *Rev. Chem. (Bucharest)*. 1983, 34 (12), 1100 - 5 (Rom).
- 36 - PLANOVSKY, A. N.; PAVLOV, V. P.; TRUBKIN, V. E.; TETIVKIN, J. V.; VOLCHENKO, A.A.; ERSHOV, O.L.; PAGAVA, G. A.; KERVALISHVILI, Z. Y.; SMYSLOV, V.V.; Et Al. (Moscow Institute of Chemical and Mechanical Engineering). "Mass transfer contact plate". *Brit. J.* 545,036 (Cl. B01D3/22), 02 May 1979, app 77/47, 013, 11 Nov. 1977; 7pp.
- 37 - RYLEK, MILAN; KRATOCHVIL, JAN; KASTANEK, FRANTISEK (Ustav Teor. Zakl. Chem. Tech. CSAV, Prague, Czech.). "Hydraulics of a column with disk - ring plates at a concurrent flow of phases". *Chem. Prum.* 1979, 29(11), 561-3 (CZECH).
- 38 - RUKOVENA, FRANK; ROBINSON, KENNETH (NORTON Co.) "Support device for a packed column". *Eur. Pat. Appl. Ep* 257,152 (Cl. B010D53/18, 02 Mar. 1988, Appl. 86/306,550, 22 Aug. 1986; 12pp.

- 39 - SAMUEL O. FASESAN (Department of Chemical Engineering, University of Manchester, Institute of Science and Technology, Manchester, England, U.K.). "Hydraulic characteristics of sieve and valve trays". *Ind. Eng. Chem. Res.* 1987, 26, 2114-2121.
- 40 - SCHEFFE, RICHARD D.; WEILAND, RALPH H.(Department of Chemical Engineering, Clarkson University, Potsdam, New York 13676). "Mass-Transfer Characteristics of Valve Trays".
- 41 - SEAH, ALEXANDER M. "Corrugated packing for fluid contacting". U.S. US 4,710,326 (Cl. 261-112;B01f3/04), 01 Dec. 1987, appl. 902, 189, 29 aug 1986; 12pp.
- 42 - TATLI, BASIR; ULUSOY, EMIN (Fac. Eng. Istanbul Univ. Istanbul, Turk), "A new type of perforated plate developed for distillation columns and its operating features". *Chim. Acta Turc.* 1987, 15(1), 27-43.
- 43 - WEILER, D.W.; KIRKPATRICK, R.D.; LOCKETT, M.J. (Eng. Prod. Process Technol. group, Union Carbide corp., USA). "Effect of downcomer mixing on distillation tray efficiency". *Chem. Eng. Prog.* 1981, 77(1), 63-9 (ENG).
- 44 - YANAGI, TAK (Fractionation Res., Inc., USA). "Inside a trayed distillation column". *Chem. Eng. (N.Y.)* 1990, 97 (11), 120 - 9.
- 45 - ZHOU, JINHAN; CHEN, ZIFANG; HUANG, YOUHUI (Zhejiang University). "Assembly a column tray with angle bars". CN 85,100,551 (Cl.B01d3/22), 10 Mar. 1986, appl. 01 Apr. 1985; 5pp.

CAPÍTULO VIII

VIII. TABELAS

8.1 - PRATOS PERFURADOS

8.1.1 - PRATO PERFURADO SECO

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7
52.470	27.2	23.2	18.4	13.8	10.8	8.8	6.8
42.890	23.4	18.2	13.8	10.4	8.0	6.6	5.4
33.310	18.4	13.8	10.0	7.4	6.0	4.8	3.8
25.720	14.6	9.2	7.2	5.2	4.0	3.4	2.8
18.250	9.8	6.4	4.8	3.6	2.8	2.2	1.8
14.145	6.2	4.2	3.0	2.4	1.8	1.4	1.2
10.040	3.8	2.4	1.8	1.4	1.0	0.8	0.6

TABELA 01 : Queda de pressão em um prato perfurado seco.

8.1.2 PRATOS PERFURADOS IRRIGADOS

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	---	---	27.0	23.2	19.0	16.4	13.0	1
42.890	---	---	24.0	19.4	15.2	12.0	9.4	1
33.310	31.6	27.2	19.6	14.2	12.0	9.0	7.4	1
25.720	28.0	22.2	15.2	10.8	8.2	6.2	5.0	1
18.250	24.4	16.4	10.4	7.0	5.8	4.4	3.6	1
14.145	18.0	10.6	6.0	4.0	3.4	3.0	2.4	1
10.040	12.0	6.8	3.8	2.8	2.4	2.0	1.6	1

TABELA 02 : Queda de pressão em um prato perfurado irrigado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	---	---	---	23.8	19.4	16.8	13.6	2
42.890	---	---	25.2	18.0	14.0	12.8	10.0	2
33.310	31.8	27.0	21.0	15.8	12.2	9.6	7.4	2
25.720	28.4	22.6	16.0	11.8	8.6	7.4	5.8	2
18.250	25.0	17.4	11.6	8.2	6.4	5.2	4.2	2
14.145	18.6	10.8	7.4	5.4	4.2	3.8	3.2	2
10.040	13.4	7.4	5.0	4.0	3.2	3.0	2.4	2

TABELA 03 : Queda de pressão em um prato perfurado molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	H(cm)
52.470	---	---	---	24.2	20.6	17.4	14.0	3
42.890	---	---	25.6	20.4	16.8	13.4	10.4	3
33.310	32.8	27.4	21.4	16.8	12.8	10.2	8.2	3
25.720	28.8	23.4	17.0	12.6	9.8	7.8	6.8	3
18.250	25.8	17.8	12.8	9.2	7.0	6.0	5.0	3
14.145	18.8	11.4	8.6	6.2	5.2	4.4	4.0	3
10.040	13.8	8.0	6.0	4.8	4.0	3.6	3.4	3

TABELA 04: Queda de pressão em um prato perfurado molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	H(cm)
52.470	---	---	---	25.0	21.2	17.8	15.2	4
42.890	---	---	26.6	21.8	17.0	14.0	11.8	4
33.310	32.6	28.6	22.6	17.2	14.0	11.4	9.0	4
25.720	30.0	24.0	17.8	13.8	10.8	9.0	7.4	4
18.250	26.2	18.8	13.6	10.0	8.2	6.8	5.8	4
14.145	19.8	13.0	9.4	7.6	6.2	5.6	5.6	4
10.040	14.0	9.4	7.0	6.0	5.0	4.6	4.0	4

TABELA 05: Queda de pressão em um prato perfurado molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	---	---	---	26.0	22.0	19.0	15.8	5
42.890	---	---	27.0	22.4	18.0	15.2	12.6	5
33.310	33.6	28.6	23.8	18.0	14.6	12.2	10.4	5
25.720	31.0	25.0	18.4	14.6	11.4	9.8	8.4	5
18.250	27.6	19.6	14.4	10.8	8.8	8.0	7.0	5
14.145	21.0	13.8	10.0	8.2	7.0	6.6	6.0	5
10.040	15.0	10.2	7.6	6.6	5.6	5.6	3.2	5

TABELA 06: Queda de pressão em um prato perfurado molhado.

8.2. - PRATOS VALVULADOS

8.2.1 - PRATO VALVULADO SECO

$Q(m^3/h) \setminus P_v$	<i>PVA</i>	<i>PVB</i>	<i>PVC</i>	<i>PVD</i>
52.470	15.0	15.4	16.4	16.6
42.890	10.6	11.4	12.8	12.8
33.310	8.8	9.4	10.4	11.2
25.720	6.6	7.0	8.2	8.6
18.250	5.0	5.2	6.4	6.8
14.145	3.8	4.0	5.0	5.2
10.040	2.6	3.0	4.0	4.4

TABELA 07 : Queda de pressão em um prato valvulado Seco.

8.2.2 - PRATOS VALVULADOS MOLHADOS

$Q(m^3/h) \setminus P_v$	<i>PVA</i>	<i>PVB</i>	<i>PVC</i>	<i>PVD</i>	<i>H(cm)</i>
52.470	16.0	16.4	17.2	17.6	1
42.890	11.0	13.4	13.6	13.8	1
33.310	9.0	11.0	11.2	11.6	1
25.720	6.8	8.4	9.4	9.8	1
18.250	5.8	6.2	8.0	8.4	1
14.145	4.8	6.0	7.2	7.4	1
10.040	4.4	5.6	6.2	6.6	1

TABELA 08: Queda de pressão em um prato valvulado molhado.

$Q(m^3/h) \setminus P_v$	<i>PVA</i>	<i>PVB</i>	<i>PVC</i>	<i>PVD</i>	<i>H(cm)</i>
52.470	16.6	21.0	21.2	21.8	2
42.890	12.4	15.2	15.2	15.6	2
33.310	10.2	12.6	12.2	12.6	2
25.720	8.4	11.0	10.6	10.8	2
18.250	6.8	8.0	9.0	10.0	2
14.145	6.0	7.2	8.0	8.4	2
10.040	4.8	6.8	7.6	7.8	2

TABELA 09: Queda de pressão em um prato valvulado molhado.

$Q(m^3/h) \setminus P_v$	PVA	PVB	PVC	PVD	H(cm)
52.470	17.6	21.4	22.0	22.4	3
42.890	13.6	18.0	19.4	19.4	3
33.310	11.2	15.4	15.4	15.6	3
25.720	9.8	12.2	11.8	12.6	3
18.250	7.6	9.0	9.6	10.4	3
14.145	6.6	7.8	9.0	9.4	3
10.040	6.0	7.4	8.6	9.0	3

TABELA 10: Queda de pressão em um prato valvulado molhado.

$Q(m^3/h) \setminus P_v$	PVA	PVB	PVC	PVD	H(cm)
52.470	20.0	22.6	23.6	23.8	4
42.890	15.4	18.6	20.4	20.6	4
33.310	12.4	16.0	16.4	16.0	4
25.720	10.6	12.2	12.4	12.6	4
18.250	8.8	10.2	10.4	11.4	4
14.145	8.0	8.4	9.8	10.2	4
10.040	7.4	8.0	9.0	9.4	4

TABELA 11: Queda de pressão em um prato valvulado molhado.

$Q(m^3/h) \setminus P_v$	<i>PVA</i>	<i>PVB</i>	<i>PVC</i>	<i>PVD</i>	<i>H(cm)</i>
52.470	22.8	23.6	24.0	25.0	5
42.890	19.0	20.4	20.6	21.0	5
33.310	16.0	16.6	16.4	16.6	5
25.720	12.8	14.0	12.8	13.4	5
18.250	10.6	10.8	11.2	12.0	5
14.145	9.0	9.6	10.8	11.4	5
10.040	8.0	9.2	9.8	10.4	5

TABELA 12: Queda de pressão em um prato valvulado molhado.

8.3 - PRATOS MISTOS

8.3.1 - PRATOS MISTOS SECOS

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7
52.470	8.4	7.6	6.2	5.4	4.6	4.2	3.8
42.890	6.0	5.4	4.6	4.2	3.6	3.0	2.8
33.310	5.0	4.6	3.8	3.4	2.8	2.6	2.4
25.720	4.0	3.6	3.0	2.8	2.4	2.0	1.6
18.250	3.2	2.8	2.4	2.0	1.6	1.4	1.2
14.145	2.4	1.8	1.6	1.4	1.0	0.8	0.8
10.040	1.6	1.4	1.0	0.8	0.6	0.6	0.4

TABELA 13: Queda de pressão em um prato misto seco. Válvulas A.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7
52.470	9.6	8.2	7.0	6.0	5.2	4.4	4.2
42.890	7.8	6.2	5.4	4.8	4.2	3.8	3.2
33.310	5.8	4.8	4.0	3.8	3.2	2.8	2.4
25.720	4.6	4.0	3.4	3.0	2.4	2.2	1.8
18.250	3.6	3.0	2.6	2.2	1.8	1.6	1.4
14.145	2.6	2.2	1.8	1.4	1.2	1.0	0.8
10.040	1.8	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6

TABELA 14: Queda de pressão em um prato misto seco. Válvulas B

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7
52.470	10.8	9.6	8.6	7.6	6.6	6.0	5.0
42.890	8.6	7.6	6.4	6.0	5.2	4.6	4.0
33.310	7.0	6.2	5.6	5.0	4.2	3.8	3.4
25.720	6.0	5.0	4.4	4.0	3.2	3.0	2.6
18.250	4.6	4.0	3.6	3.0	2.4	2.0	1.8
14.145	4.0	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.4
10.040	2.8	2.2	1.8	1.6	1.2	1.0	1.0

TABELA 15: Queda de pressão em um prato misto seco. Válvulas C.

8.3.2 - PRATOS MISTOS MOLHADOS

8.3.2.1 - USO DE VÁLVULAS TIPO A

$Q(m^3/h) \setminus N_p$								$H(cm)$
	1	2	3	4	5	6	7	
52.470	12.8	11.6	10.4	9.0	8.4	7.8	6.6	1
42.890	10.8	9.4	8.0	7.4	6.4	6.0	5.4	1
33.310	9.0	7.8	6.8	6.2	5.8	5.6	4.8	1
25.720	7.2	6.2	5.6	5.4	4.8	4.6	4.4	1
18.250	5.6	5.0	5.0	4.6	4.4	4.4	4.0	1
14.145	5.0	4.4	4.4	4.2	4.0	4.0	3.6	1
10.040	4.0	3.8	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	1

TABELA 16 :Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$								$H(cm)$
	1	2	3	4	5	6	7	
52.470	13.6	12.6	10.8	9.8	8.8	8.4	7.8	2
42.890	11.8	10.4	8.6	7.6	7.0	6.8	6.2	2
33.310	10.0	8.6	7.6	7.0	6.0	5.8	5.6	2
25.720	8.2	7.0	6.4	5.8	5.6	5.4	5.2	2
18.250	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.0	4.8	2
14.145	6.0	5.2	5.0	4.8	4.6	4.4	4.0	2
10.040	5.0	4.4	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	2

TABELA 17: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	14.0	13.4	11.8	10.4	10.0	9.4	8.6	3
42.890	12.4	10.8	10.2	8.8	8.4	7.8	7.2	3
33.310	10.6	9.4	8.8	7.6	7.0	6.8	6.6	3
25.720	8.8	8.0	7.0	6.8	6.4	6.2	6.0	3
18.250	7.4	7.0	6.6	6.4	6.0	5.8	5.6	3
14.145	6.8	6.2	6.0	6.0	5.6	5.4	5.2	3
10.040	6.2	6.0	5.2	5.2	5.0	4.8	4.6	3

TABELA 18: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	14.4	13.8	12.4	11.0	10.8	10.0	9.0	4
42.890	13.0	12.0	10.2	9.0	9.0	8.6	8.0	4
33.310	11.2	10.2	9.2	8.4	8.2	7.4	7.4	4
25.720	9.8	8.8	8.0	7.6	7.4	7.0	7.0	4
18.250	8.2	7.6	7.4	7.0	6.8	6.6	6.4	4
14.145	7.4	7.2	6.6	6.4	6.2	6.2	6.0	4
10.040	7.0	6.8	6.2	6.0	5.6	5.6	5.4	4

TABELA 19: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	16.4	14.6	13.4	12.8	11.2	10.6	10.0	5
42.890	13.8	12.6	11.0	10.8	10.0	9.6	8.8	5
33.310	12.0	10.8	9.8	9.6	9.0	8.8	8.4	5
25.720	10.8	9.8	9.0	8.8	8.4	8.4	8.0	5
18.250	9.2	9.2	8.6	8.2	8.0	7.6	7.6	5
14.145	9.0	8.8	8.2	7.8	7.6	7.2	6.8	5
10.040	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8	6.6	6.6	5

TABELA 20: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

8.3.2.2 - USO DAS VÁLVULAS TIPO B.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	10.4	8.6	8.4	8.0	7.4	6.4	6.0	1
42.890	8.0	7.0	6.8	6.6	6.2	6.0	5.4	1
33.310	6.8	6.2	6.0	6.0	5.6	5.2	5.0	1
25.720	6.0	5.8	5.4	5.4	5.0	4.8	4.4	1
18.250	5.4	5.2	5.2	5.0	4.6	4.0	4.0	1
14.145	5.0	4.8	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	1
10.040	4.6	4.2	4.0	3.8	3.6	3.2	3.0	1

TABELA 21: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	14.8	11.8	10.8	9.6	8.4	7.6	7.2	2
42.890	10.8	9.2	8.6	7.4	7.0	6.6	6.0	2
33.310	8.0	7.8	7.6	7.0	6.2	6.0	5.8	2
25.720	7.2	7.0	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	2
18.250	7.0	6.6	6.0	5.8	5.4	5.2	5.2	2
14.145	6.4	6.0	5.6	5.4	5.2	4.6	4.4	2
10.040	6.0	5.6	5.4	5.0	4.4	4.0	3.8	2

TABELA 22: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	16.2	14.0	11.8	10.4	10.0	8.6	8.4	3
42.890	12.6	10.6	9.8	8.6	8.4	7.8	7.2	3
33.310	10.4	8.8	8.4	7.8	7.6	7.2	7.0	3
25.720	8.6	8.0	7.6	7.2	7.0	6.6	6.4	3
18.250	7.8	7.2	7.0	6.8	6.4	6.2	6.0	3
14.145	7.0	6.8	6.4	6.0	6.0	5.8	5.2	3
10.040	6.6	6.4	6.0	5.8	5.6	5.0	4.8	3

TABELA 23: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	17.6	15.0	12.8	11.2	11.0	10.0	9.2	4
42.890	13.8	12.0	10.6	9.4	9.0	8.6	8.2	4
33.310	11.4	9.8	9.2	8.8	8.4	7.8	7.6	4
25.720	9.4	9.0	8.6	8.0	7.8	7.4	7.2	4
18.250	8.6	8.0	7.6	7.4	7.2	7.0	6.6	4
14.145	8.0	7.4	7.2	7.0	6.8	6.8	6.0	4
10.040	7.4	7.0	6.8	6.6	6.2	6.0	5.6	4

TABELA 24: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	18.8	16.2	14.4	12.8	11.4	10.6	10.2	5
42.890	15.6	13.0	11.8	11.2	10.2	10.0	9.6	5
33.310	13.2	11.0	10.4	10.0	9.8	9.0	8.8	5
25.720	11.4	10.6	9.6	9.6	9.4	8.6	8.4	5
18.250	10.0	9.8	9.2	8.8	8.6	8.2	8.0	5
14.145	9.0	9.0	8.6	8.6	8.2	8.0	8.0	5
10.040	8.6	8.6	8.0	8.0	7.6	7.2	6.8	5

TABELA 25: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado,

8.3.2.3 - USO DAS VÁLVULAS TIPO C

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	12.0	10.8	10.0	9.2	8.4	7.8	7.6	1
42.890	9.6	9.0	8.4	7.6	7.4	6.8	6.4	1
33.310	8.2	7.8	7.6	7.0	6.4	6.0	6.0	1
25.720	7.6	7.0	6.8	6.4	6.0	5.8	5.4	1
18.250	6.8	6.2	6.0	5.8	5.6	5.2	5.0	1
14.145	6.2	5.6	5.6	5.2	5.0	4.4	4.2	1
10.040	5.6	5.2	5.0	4.4	4.0	3.8	3.6	1

TABELA 26: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	12.8	11.6	11.0	10.0	9.4	8.6	8.2	2
42.890	10.8	10.0	9.6	9.0	8.4	8.0	7.4	2
33.310	9.8	8.8	8.6	8.2	7.8	7.4	7.0	2
25.720	8.6	8.2	8.0	7.4	7.2	6.8	6.4	2
18.250	7.8	7.6	7.0	6.4	6.2	6.0	5.8	2
14.145	7.0	6.6	6.4	6.2	5.8	5.6	5.0	2
10.040	6.4	6.2	6.0	5.6	5.4	5.0	4.4	2

TABELA 27: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$								$H(cm)$
	1	2	3	4	5	6	7	
52.470	15.0	13.6	12.2	11.0	10.0	9.4	9.0	3
42.890	12.4	10.6	10.2	9.8	9.0	8.2	7.6	3
33.310	9.8	9.6	9.4	9.2	8.6	8.0	7.8	3
25.720	9.0	8.8	8.6	8.0	7.8	7.4	7.2	3
18.250	8.6	8.4	7.8	7.4	7.2	6.6	6.6	3
14.145	8.0	7.4	7.2	7.0	6.4	6.2	6.0	3
10.040	7.0	6.8	6.6	6.2	5.8	5.4	5.0	3

TABELA 28: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$								$H(cm)$
	1	2	3	4	5	6	7	
52.470	15.4	14.0	13.6	12.0	11.4	10.8	10.2	4
42.890	13.6	11.8	11.2	11.0	10.0	9.6	9.4	4
33.310	11.6	11.0	10.6	9.8	9.4	9.2	9.0	4
25.720	9.8	9.6	9.6	9.2	9.0	8.6	8.4	4
18.250	9.4	9.2	9.2	8.6	8.2	8.0	7.8	4
14.145	9.0	8.6	8.4	8.0	7.6	7.0	6.8	4
10.040	8.6	8.2	7.8	7.4	7.0	6.4	6.0	4

TABELA 29: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	15.6	15.2	14.0	13.2	12.6	12.0	11.2	5
42.890	14.2	12.6	11.8	11.6	11.0	10.6	10.4	5
33.310	12.2	11.8	11.4	10.8	10.0	9.8	9.6	5
25.720	11.2	11.0	10.8	10.6	9.8	9.6	9.4	5
18.250	10.6	10.6	10.0	9.8	9.4	9.2	8.8	5
14.145	10.2	9.8	9.6	9.0	9.0	8.6	8.0	5
10.040	9.6	9.0	8.8	8.6	8.2	7.8	7.4	5

TABELA 30: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

8.3.2.4 - Uso DAS VÁLVULAS TIPO D

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	12.4	11.0	9.8	9.0	8.4	7.6	7.2	1
42.890	10.0	9.0	8.8	7.8	7.2	6.6	6.4	1
33.310	9.0	8.0	7.8	6.8	6.6	6.2	5.8	1
25.720	8.4	7.4	7.0	6.2	6.0	5.6	5.4	1
18.250	7.0	6.8	6.0	5.6	5.6	5.2	4.8	1
14.145	6.4	6.0	5.8	5.4	4.8	4.4	4.0	1
10.040	5.6	5.4	5.2	4.8	4.4	3.8	3.4	1

TABELA 31: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	13.8	12.0	11.0	10.6	8.8	8.4	8.0	2
42.890	10.8	9.8	9.0	8.6	8.0	7.6	7.4	2
33.310	9.6	9.0	8.6	8.2	7.4	7.0	6.8	2
25.720	9.2	8.0	7.8	7.2	6.6	6.4	6.4	2
18.250	7.8	7.4	7.4	6.6	6.2	6.0	5.8	2
14.145	7.2	6.6	6.6	6.0	5.8	5.6	5.2	2
10.040	6.6	6.2	6.2	5.6	5.2	4.8	4.4	2

TABELA 32: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$								$H(cm)$
	1	2	3	4	5	6	7	
52.470	15.2	13.0	11.8	11.4	10.2	9.6	9.2	3
42.890	12.4	10.4	10.0	9.8	9.0	8.4	8.4	3
33.310	11.2	10.2	9.4	8.8	8.6	7.8	7.8	3
25.720	10.0	9.0	8.8	8.0	7.8	7.4	7.2	3
18.250	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	7.0	6.8	3
14.145	8.2	7.8	7.6	7.0	6.8	6.2	6.0	3
10.040	8.2	7.8	7.6	7.0	6.8	6.2	6.0	3

TABELA 33: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$								$H(cm)$
	1	2	3	4	5	6	7	
52.470	15.8	15.4	12.8	11.8	11.2	10.4	10.0	4
42.890	13.8	13.4	11.4	10.6	9.8	9.6	8.8	4
33.310	12.0	11.2	10.4	9.8	9.6	8.8	8.4	4
25.720	11.0	10.4	9.8	9.4	9.0	8.4	8.0	4
18.250	9.6	9.6	9.2	8.6	8.2	7.6	7.4	4
14.145	9.2	8.8	8.6	8.0	7.6	7.0	6.6	4
10.040	8.4	8.4	8.2	7.4	7.0	6.4	6.0	4

TABELA 34: Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

$Q(m^3/h) \setminus N_p$	1	2	3	4	5	6	7	$H(cm)$
52.470	17.0	15.2	13.8	12.8	12.0	11.2	10.6	5
42.890	14.8	13.8	12.2	11.6	10.8	10.2	10.2	5
33.310	13.2	12.6	11.4	10.8	10.4	10.0	9.8	5
25.720	12.0	11.2	10.8	10.2	10.0	9.6	9.2	5
18.250	11.0	10.6	10.2	9.6	9.4	9.0	8.8	5
14.145	10.6	9.8	9.6	9.0	8.8	8.4	8.0	5
10.040	9.6	9.4	9.0	8.6	8.2	7.6	7.0	5

TABELA 35 : Variação da queda de pressão em um prato misto molhado.

8.4. - PERFIL DE TEMPERATURA NUM PRATO PERFURADO

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	---	---	---	---	---	---	---	---	48.5
33.310	35.98	34.80	34.20	32.84	32.45	32.45	32.45	32.25	48.0
18.250	35.59	33.82	33.63	32.65	32.25	32.25	32.25	32.25	48.0
10.050	34.61	33.63	33.24	32.84	33.04	33.04	33.04	32.80	48.0

TABELA 36 : Variação da temperatura ao longo de um prato perfurado com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e 2 furo.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	33.24	31.29	31.29	30.51	29.73	29.73	29.54	29.54	48.0
33.310	34.22	32.25	32.06	31.29	30.90	30.71	30.90	30.90	48.0
18.250	34.22	32.84	32.84	32.06	31.87	32.06	32.06	31.87	48.0
10.050	35.59	33.04	33.04	32.84	32.65	32.84	32.65	33.04	48.0

TABELA 37 : Variação da temperatura ao longo de um prato perfurado com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e 4 furo.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	31.29	30.90	30.51	30.31	29.73	29.14	29.14	29.53	48.0
33.310	31.29	30.90	30.71	30.51	30.51	30.12	30.90	30.90	48.0
18.250	34.22	32.84	32.45	32.06	31.67	31.67	31.48	31.48	48.0
10.050	34.22	32.65	32.45	32.25	31.67	31.48	31.67	31.87	48.0

TABELA 38 : Variação da temperatura ao longo de um prato perfurado com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e 6 furo.

OBS: Q é a vazão da fase gasosa em m^3/h , $Dist$ é a distância medida ao longo do prato em cm e T é a temperatura ao longo do prato em $^{\circ}C$.

8.4 - PERFIL DE TEMPERATURA DE UM PRATO VALVULADO

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	35.30	33.54	32.37	32.75	32.56	32.95	32.95	32.95	48.5
33.310	36.78	36.00	34.82	34.82	34.64	34.64	34.43	34.24	49.0
18.250	37.18	36.20	36.20	35.80	35.41	35.41	35.22	34.82	49.0
10.050	38.57	36.22	36.61	36.61	36.41	36.22	36.22	36.22	50.0

TABELA 39 : *Varição da temperatura ao longo de um prato valvulado com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.*

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	34.50	31.95	30.79	31.37	30.60	30.79	30.79	30.79	47.5
33.310	35.39	35.00	34.02	34.41	33.82	33.43	33.24	33.24	48.0
18.250	35.59	35.20	35.00	34.61	34.22	34.02	34.22	34.22	48.0
10.050	37.55	35.00	35.00	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	48.0

TABELA 40 : *Varição da temperatura ao longo de um prato valvulado com altura do líquido de 3 cm sobre o prato e válvulas tipo A.*

OBS: Q é a vazão da fase gasosa em m^3/h , $Dist$ é a distância medida ao longo do prato em cm e T é a temperatura ao longo do prato em $^{\circ}C$.

8.5 - PERFIL DE TEMPERATURA AO LONGO DE UM PRATO MISTO

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	35.00	33.82	33.82	33.24	32.65	32.65	32.65	32.65	48.0
33.310	35.98	35.39	35.00	35.00	34.61	34.80	34.61	33.82	48.0
18.250	37.76	36.76	36.57	36.57	36.37	36.37	36.18	33.18	48.0
10.050	38.33	37.76	37.35	36.76	36.37	36.57	36.57	36.37	48.0

TABELA 41 : Variação da temperatura ao longo de um prato PMVA1F com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	34.61	33.63	33.43	33.24	33.24	33.24	33.04	32.84	48.0
33.310	35.78	35.00	34.80	34.80	34.61	34.61	34.22	33.22	48.0
18.250	36.18	35.98	35.59	35.59	35.20	35.39	35.39	35.39	48.0
10.050	36.57	36.18	35.98	35.78	35.78	35.78	35.98	35.98	48.0

TABELA 42 : Variação da temperatura ao longo de um prato PMVA2F com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	34.00	32.82	32.43	32.43	32.43	32.43	32.43	32.24	48.0
33.310	34.59	34.00	33.61	33.61	33.41	33.41	33.41	33.22	48.0
18.250	34.98	34.39	34.39	34.59	34.39	34.39	34.39	34.39	48.0
10.050	35.76	34.78	34.59	34.59	34.59	34.59	34.78	34.78	48.0

TABELA 43 : Variação da temperatura ao longo de um prato PMVA3F com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.

OBS: Q é a vazão da fase gasosa em m^3/h , $Dist$ é a distância medida ao longo do prato em cm e T é a temperatura ao longo do prato em $^{\circ}C$.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	33.70	31.74	31.74	31.34	31.15	31.15	31.15	31.15	46.5
33.310	34.48	33.50	33.70	33.30	32.91	32.91	32.91	33.91	46.5
18.250	35.07	34.48	34.28	34.09	34.09	33.89	33.89	33.70	46.5
10.050	35.26	34.68	34.68	34.28	34.28	34.09	34.48	34.48	46.5

TABELA 44 : Variação da temperatura ao longo de um prato PMVA4F com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	34.50	32.93	32.54	32.34	31.95	32.34	32.34	32.15	47.5
33.310	35.28	34.50	33.91	33.72	33.52	33.32	33.32	33.32	47.0
18.250	36.07	35.09	34.89	34.89	34.70	34.89	34.70	34.70	47.5
10.050	37.26	36.29	36.07	35.68	35.48	35.28	35.28	35.48	47.5

TABELA 45 : Variação da temperatura ao longo de um prato PMVA5F com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	33.22	32.43	32.04	31.84	31.65	31.45	31.25	30.87	47.0
33.310	34.59	33.61	33.02	33.02	32.82	32.82	33.02	32.82	47.0
18.250	35.37	34.20	34.20	34.00	33.41	33.41	33.80	33.80	47.0
10.050	35.57	34.78	34.00	33.80	33.22	33.22	33.22	33.41	47.0

TABELA 46 : Variação da temperatura ao longo de um prato PMVA6F com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.

OBS: Q é a vazão da fase gasosa em m^3/h , $Dist$ é a distância medida ao longo do prato em cm e T é a temperatura ao longo do prato em $^{\circ}C$.

$Q \backslash Dist$	T_e	T_{10}	T_{17}	T_{27}	T_{38}	T_{48}	T_{58}	$T_{Desc.}$	T_{BM}
52.470	33.11	31.54	30.95	31.15	30.78	30.75	30.75	30.75	46.5
33.310	34.48	33.11	33.11	33.11	32.72	33.11	32.72	32.52	46.5
18.250	34.87	33.50	33.20	33.50	33.20	33.20	33.70	33.70	46.5
10.050	35.57	34.78	34.20	34.20	34.00	34.00	33.20	34.00	47.0

TABELA 47 : Variação da temperatura ao longo de um prato PMVA7F com altura do líquido de 5 cm sobre o prato e válvulas tipo A.

OBS: Q é a vazão da fase gasosa em m³/h, Dist é a distância medida ao longo do prato em cm e T é a temperatura ao longo do prato em °C.

CAPÍTULO IX

APÊNDICE A

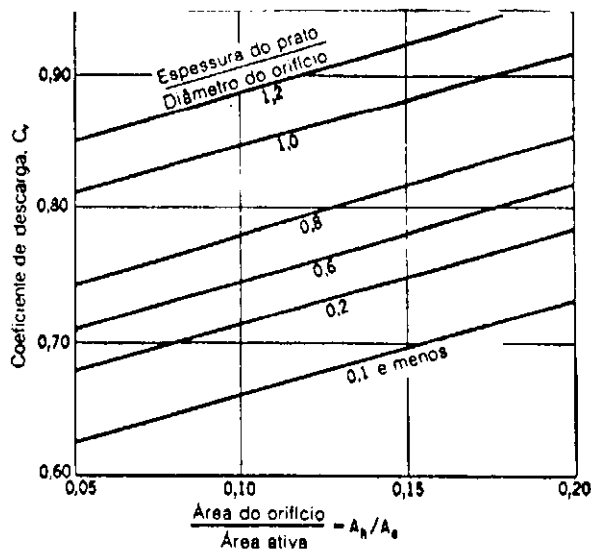


FIGURA 01: Revela a relação entre o coeficiente da descarga com a área, expressando a influência da espessura do prato e do diâmetro do orifício.

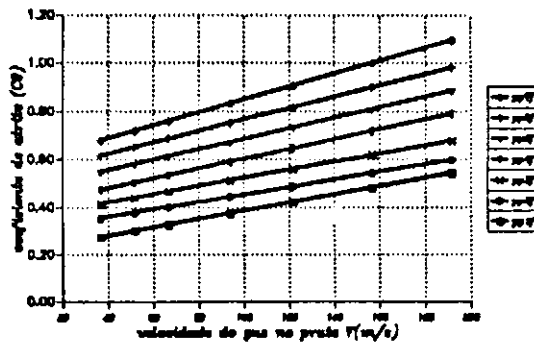
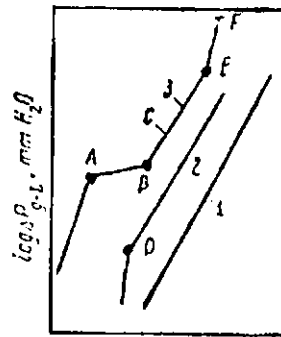


FIGURA 02: Mostra a relação entre a velocidade do gás com o coeficiente do orifício.



1. Prato seco
2. Prato irrigado com baixa vazão de gás
3. Prato irrigado com baixa vazão de líquido

Log G, $K\mu/m^2h$

FIGURA 03: Gradiente de pressão através de um prato perfurado versus vazão mássica do gás

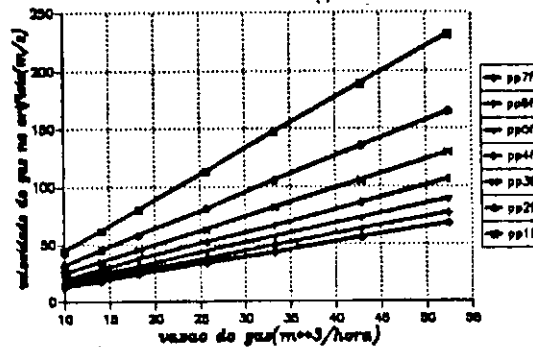


FIGURA 04: Relação entre velocidade do gás no orifício e as vazões de operação.

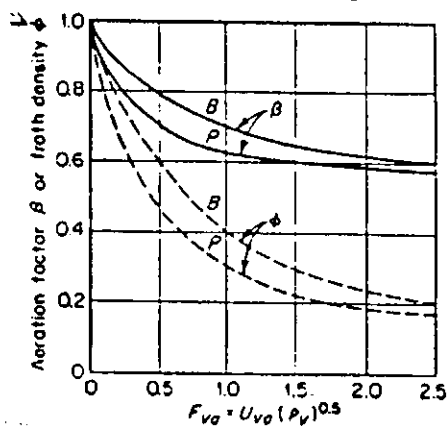


FIGURA 05: Relação do coeficiente de aeração e da densidade da espuma entre pratos valvulados e perfurados.

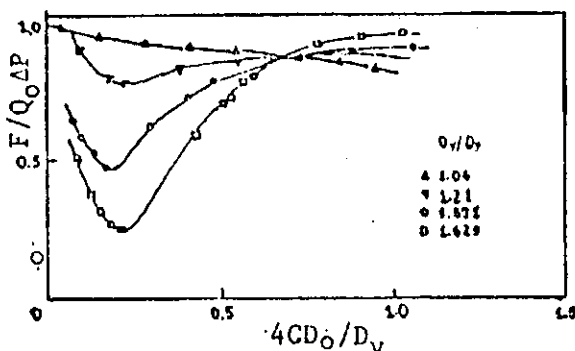
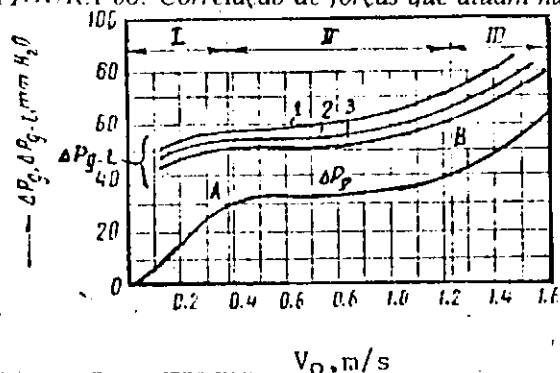


FIGURA 06: Correlação de forças que atuam numa válvula.



- I - Válvula fechada
- II - Válvula parcialmente aberta
- III - Válvula totalmente aberta.
- 1 - L = 1.5 m3/h
- 2 - L = 3 "
- 3 - L = 6 "

FIGURA 07: Gradiente de pressão através de pratos valvulados versus vazão de líquido e de gás

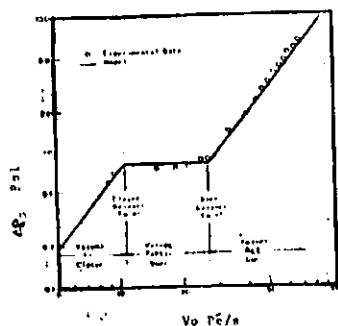


FIGURA 08: Modelo de Bolhas para a queda de pressão no prato valvulado seco

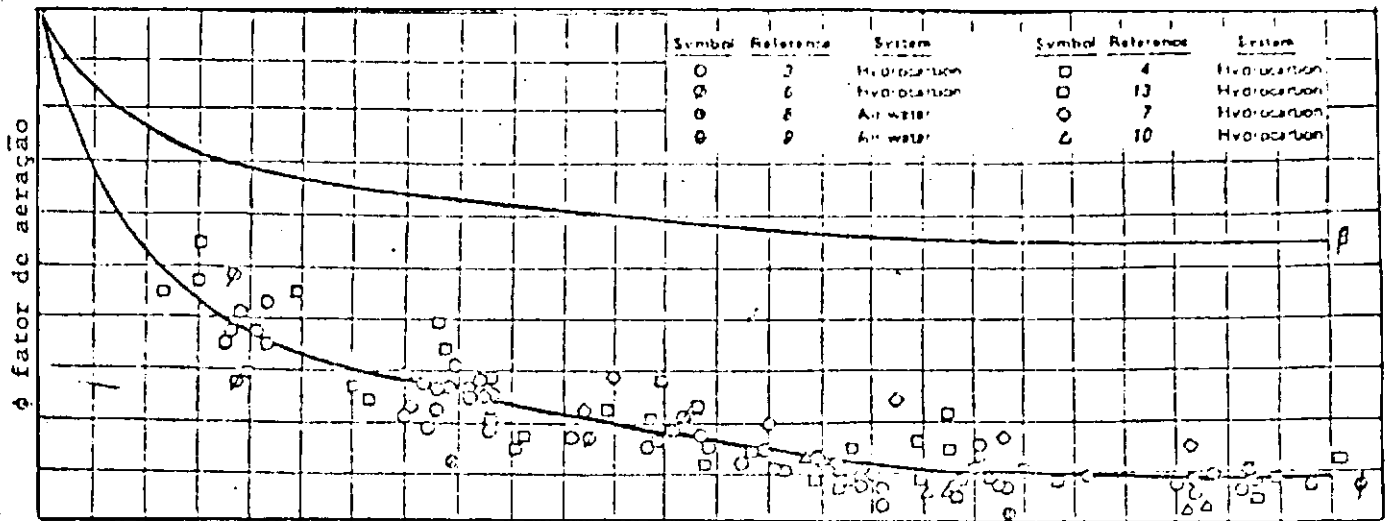
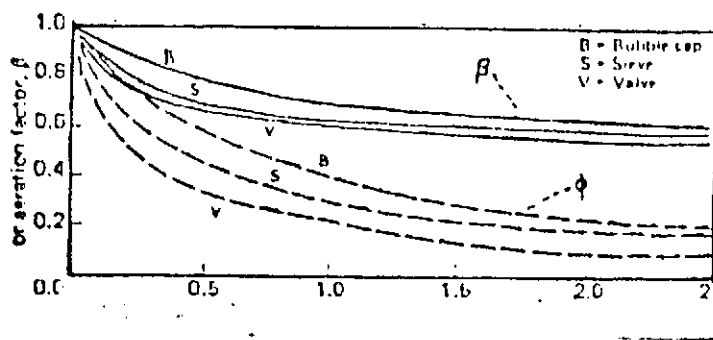


FIGURA 09: Correlação para queda de pressão através da camada de líquido aerada.



$$Fva = V_0 \sqrt{\rho'} \frac{p_{es}}{S} \left(\frac{1b}{P'es^3} \right)^{1/2}$$

FIGURA 10: Comparação entre os fatores de aeração para diversos pratos.

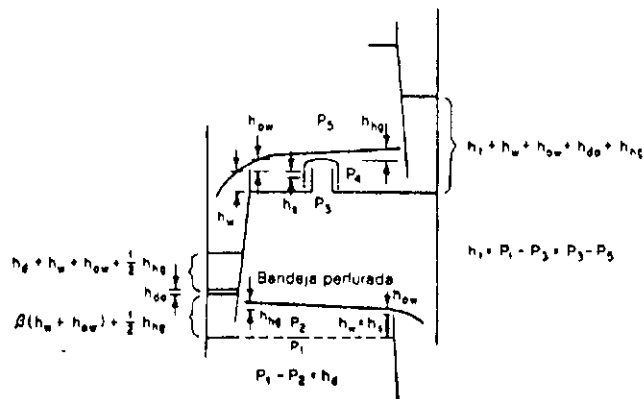


FIGURA 11: Fatores que contribuem na perda de carga nas bandejas a escoamento cruzado.

MODELO DO EQUIPAMENTO UTILIZADO

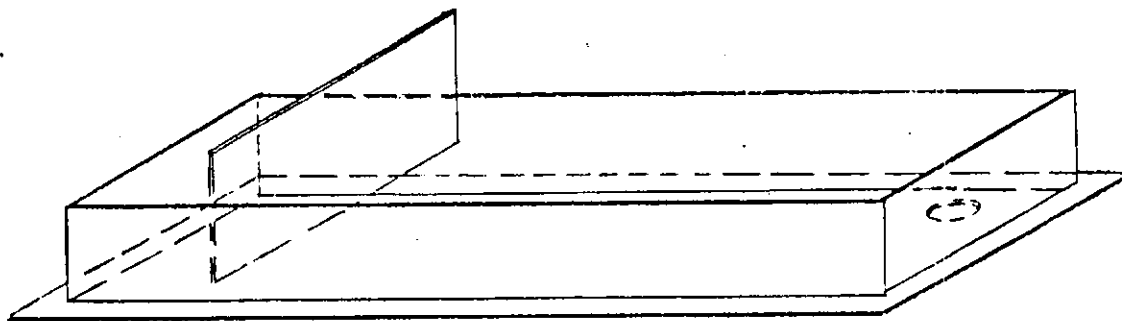


FIGURA 12a: Tampa de acrílico com a represa variável.

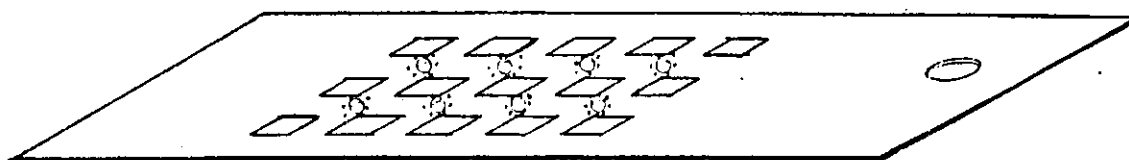


FIGURA 12b: Prato modelo aplicado na experiência.

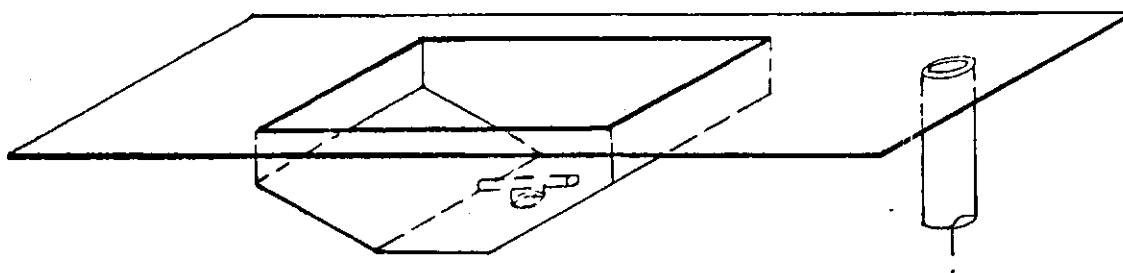


FIGURA 12c: Reservatório evazado com o vertedor a direita.
FIGURA 12: Esquema detalhado do equipamento utilizado

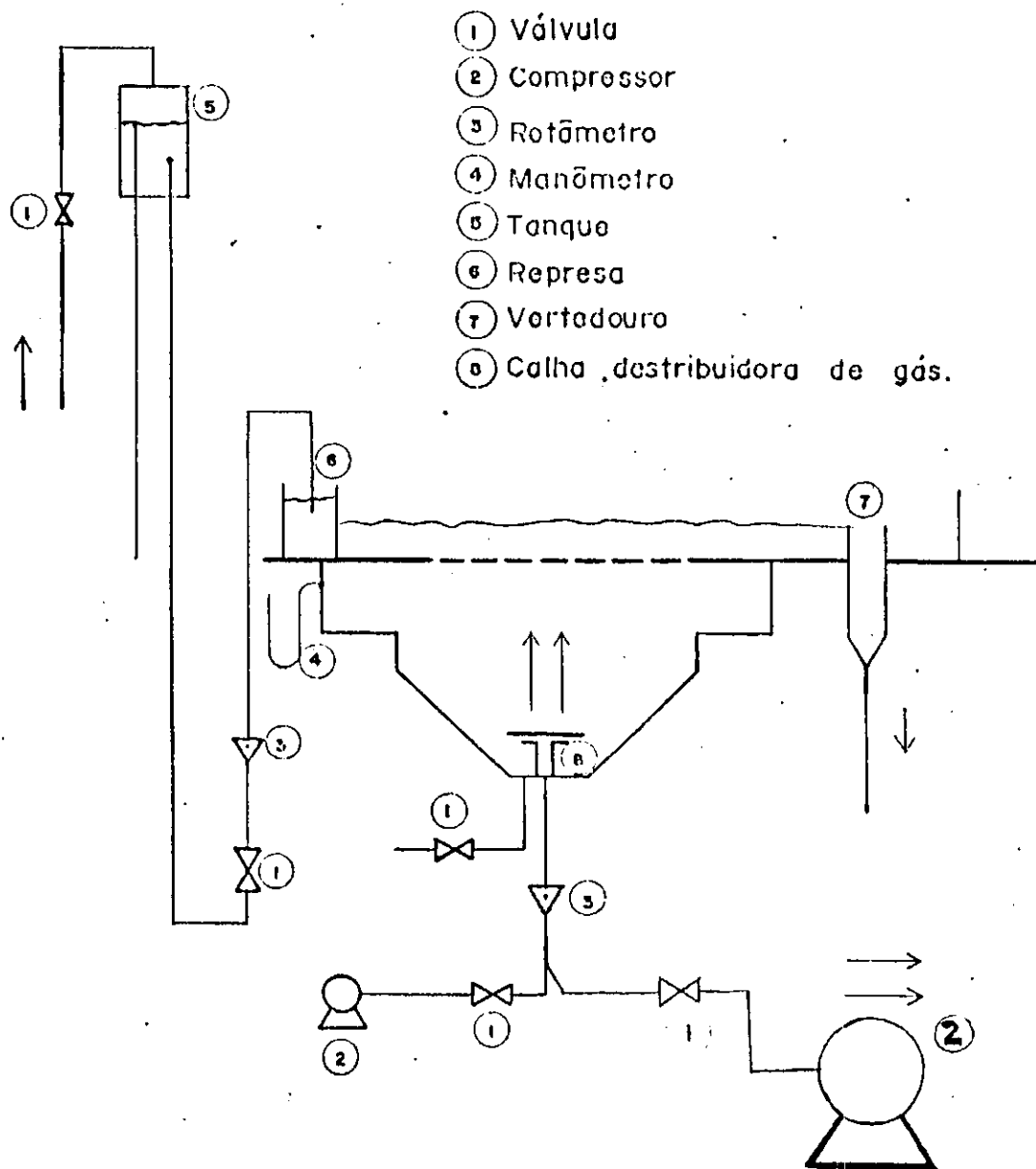


FIGURA 13: Esquema do equipamento para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos.

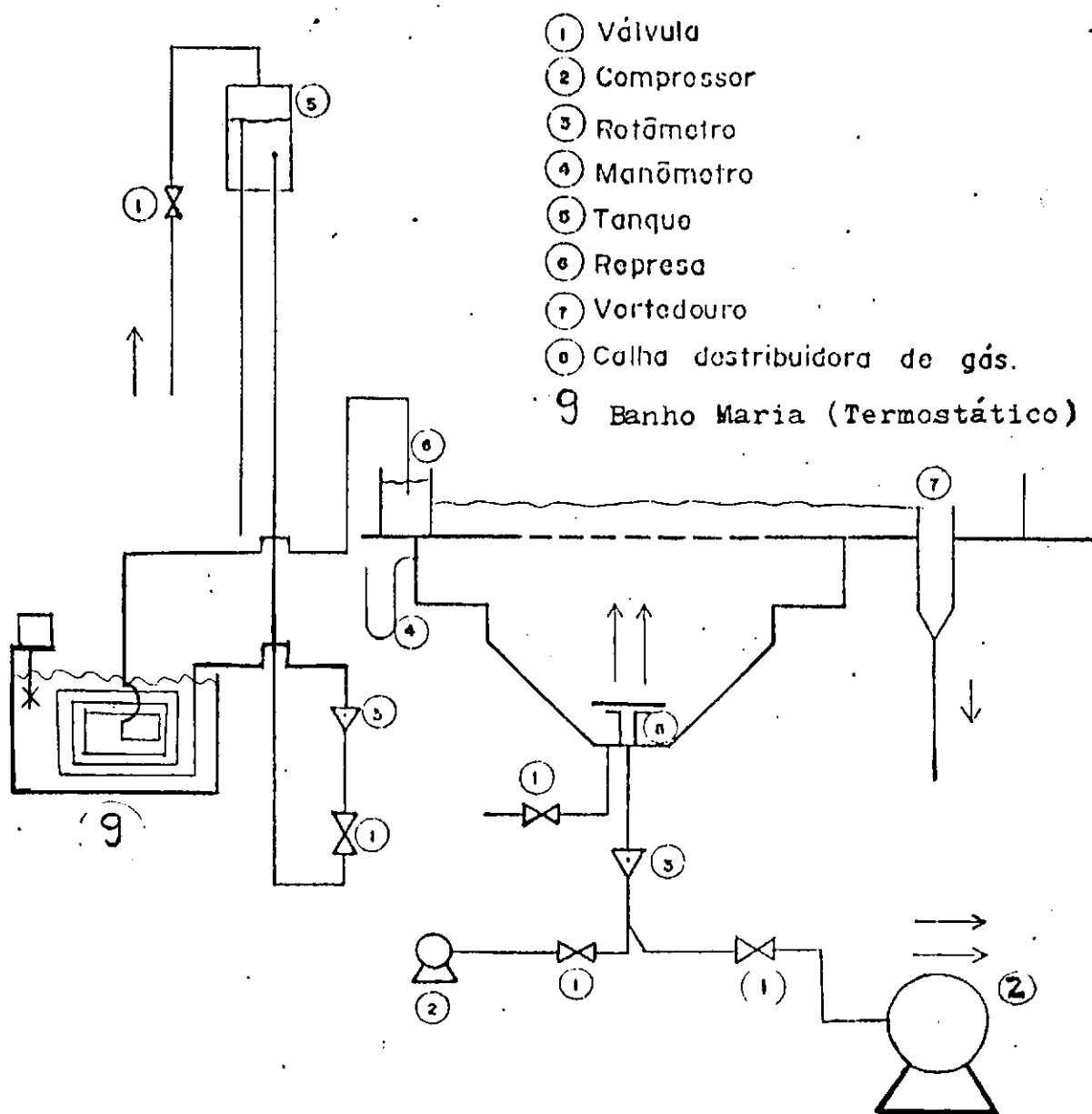
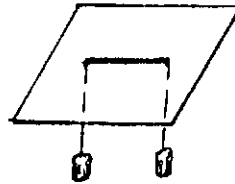


FIGURA 14: Esquema do equipamento utilizado para a determinação do perfil de temperatura.

VÁLVULA



PRATO

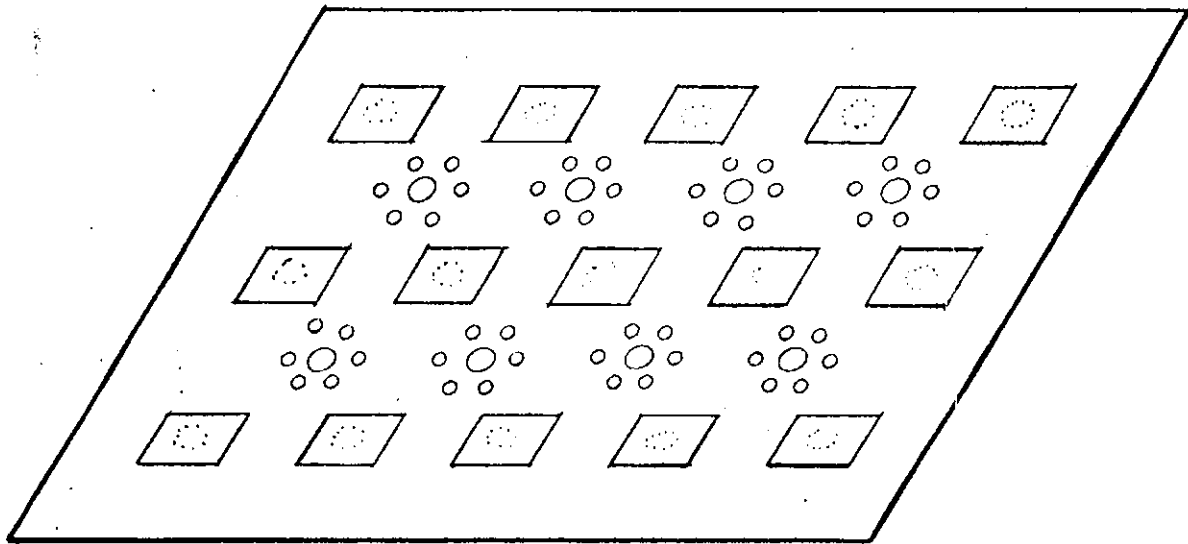


FIGURA 15: Configuração generalizada do prato modelo.

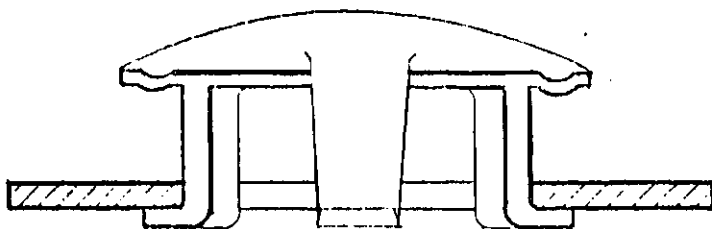


FIGURA 16a - Válvula KOCH

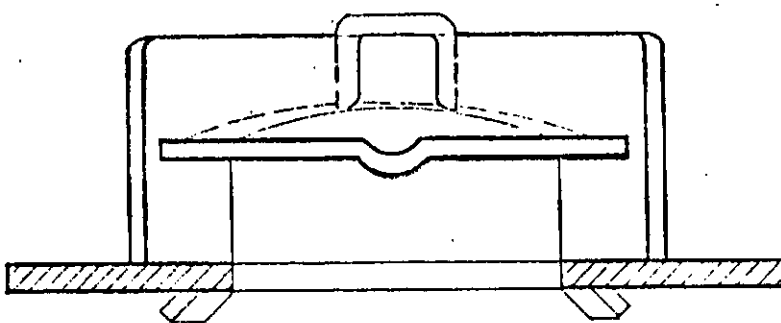


FIGURA 16b - Válvula Glitsch - t

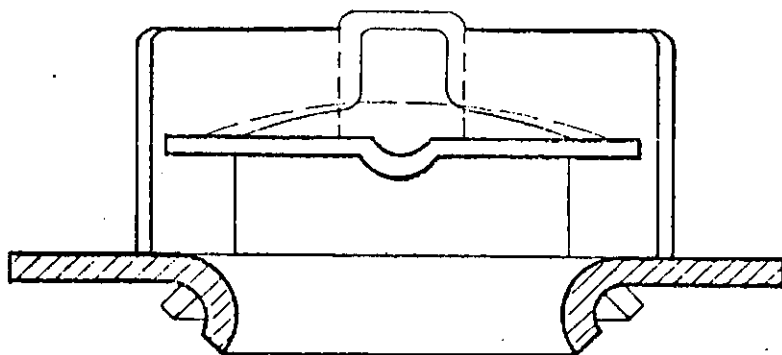


FIGURA 16c - Válvula Glitsch Venturi

FIGURA 16: Alguns tipos de válvulas utilizadas nas indústrias.

CAPÍTULO X

APÊNDICE B

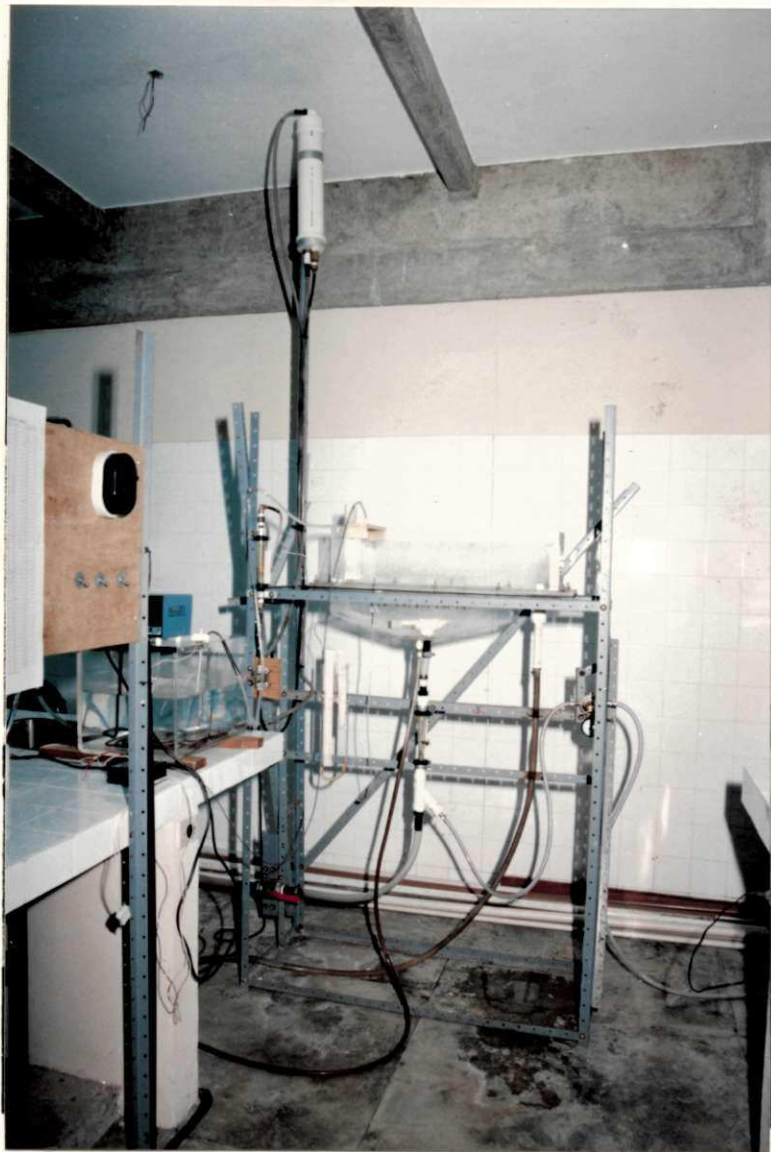


FOTO 01: Mostra frontal do experimento utilizado na pesquisa.

Apresentando o equipamento modelo no centro da foto, com as tubulações de entrada de ar na parte inferior do equipamento, o vertedor a direita, o redutor de pressão do ar comprimido, os rotâmetros, o reservatório para a descida de água por gravidade, o banho termostático.



FOTO 02:

Mostra com mais detalhes o equipamento, podendo-se observar as borrachas utilizadas para aumentar o peso das válvulas e o tubo do pvc para uniformização da distribuição da fase gasosa no reservatório.

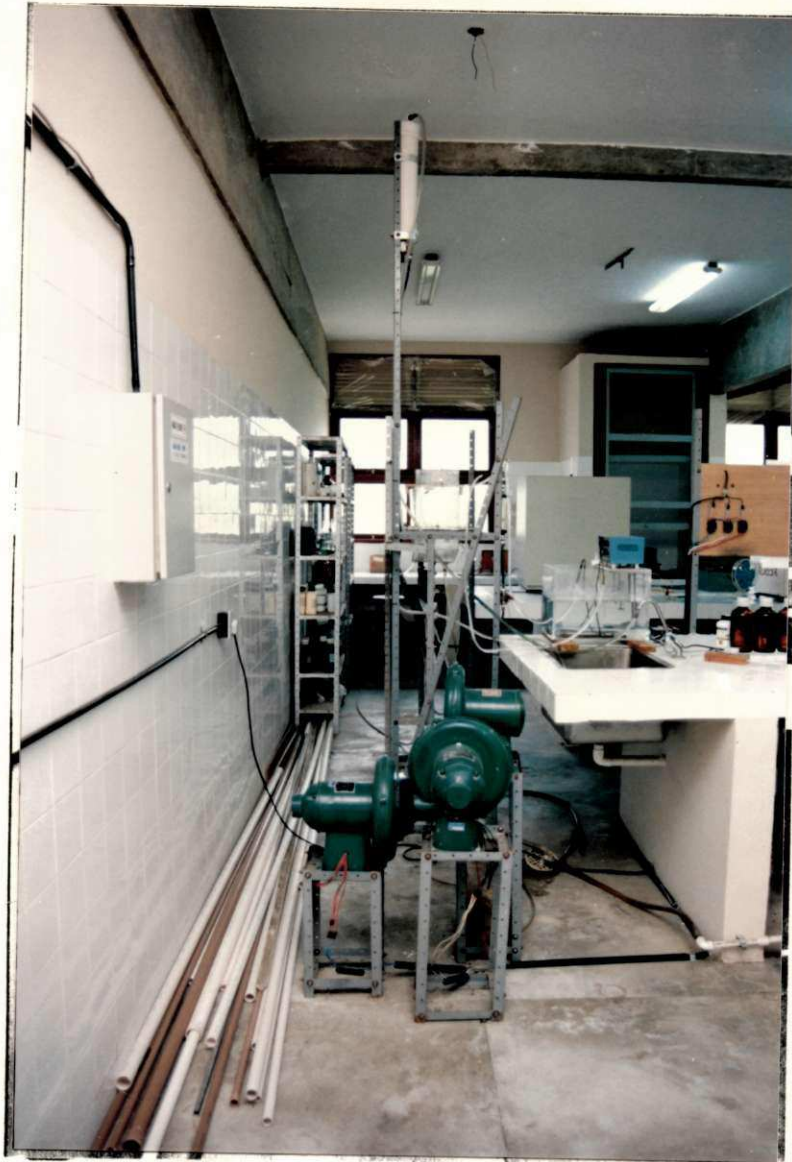


FOTO 03: Mostra os três compressores em série utilizados para a geração da fase gasosa utilizada para o experimento.



FOTO 04: Mostra numa visão ampla o equipamento utilizado na pesquisa.

CAPÍTULO XI

GRÁFICOS

FIGURA 17: Queda de pressão num prato perfurado seco, como função da variação da vazão de gás e do número das perfurações.

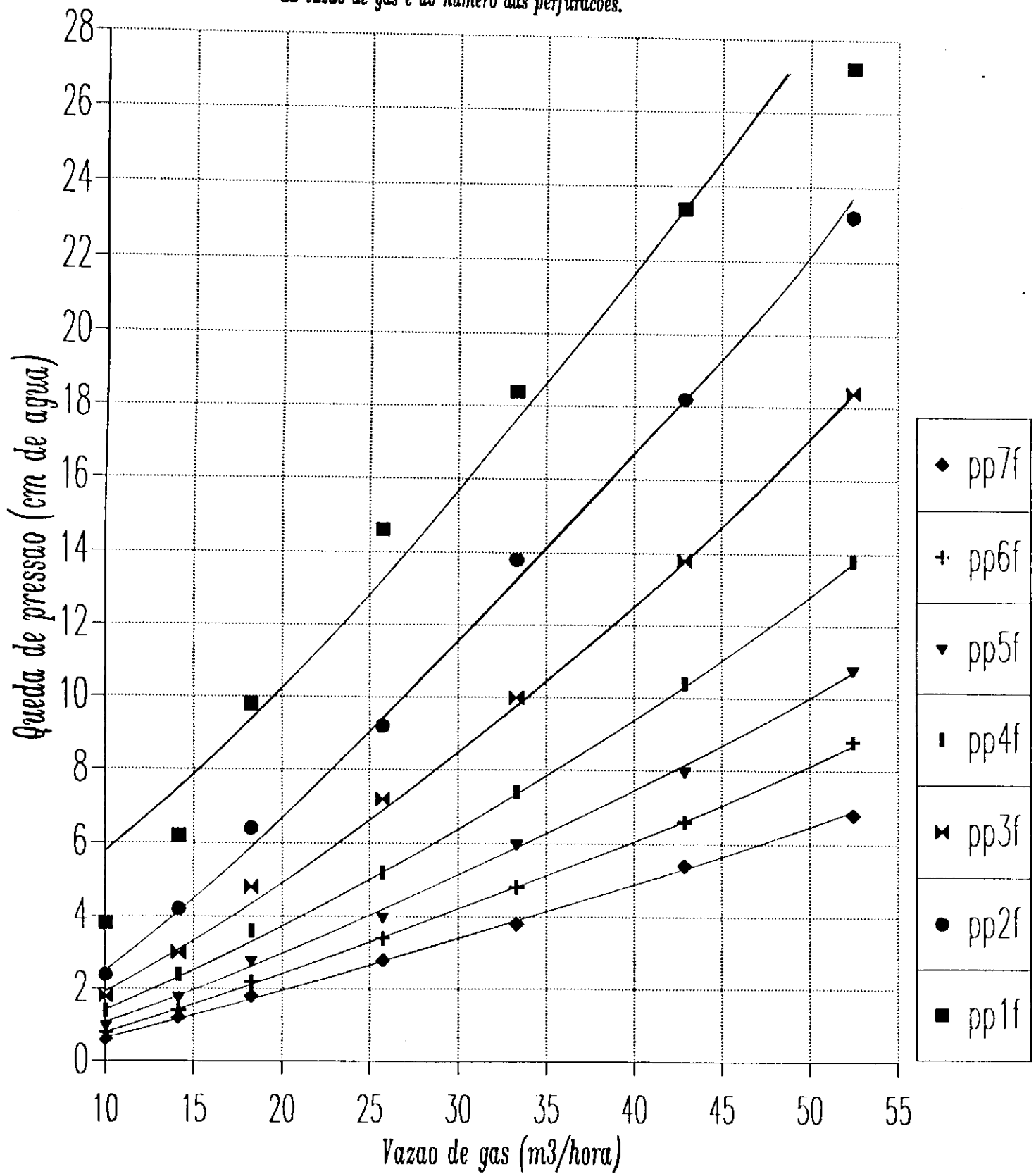


FIGURA 18:

Grafico comparativo entre dados teoricos e praticos para PPS.

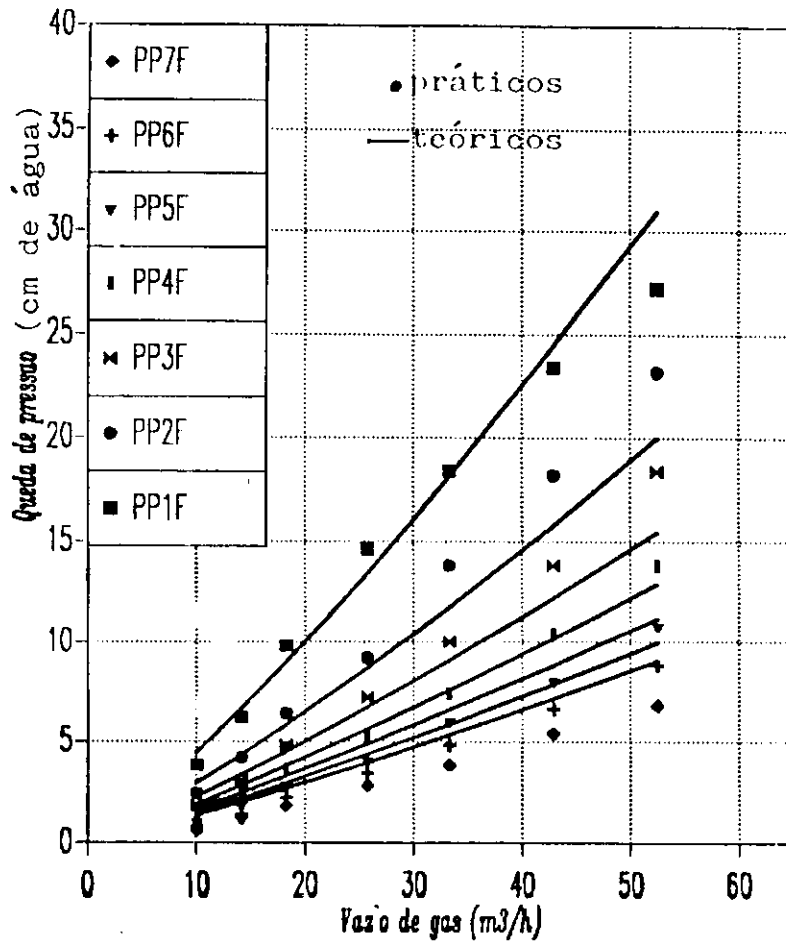


FIGURA 19:
 Gráfico comparativo entre dados teóricos e práticos para PV

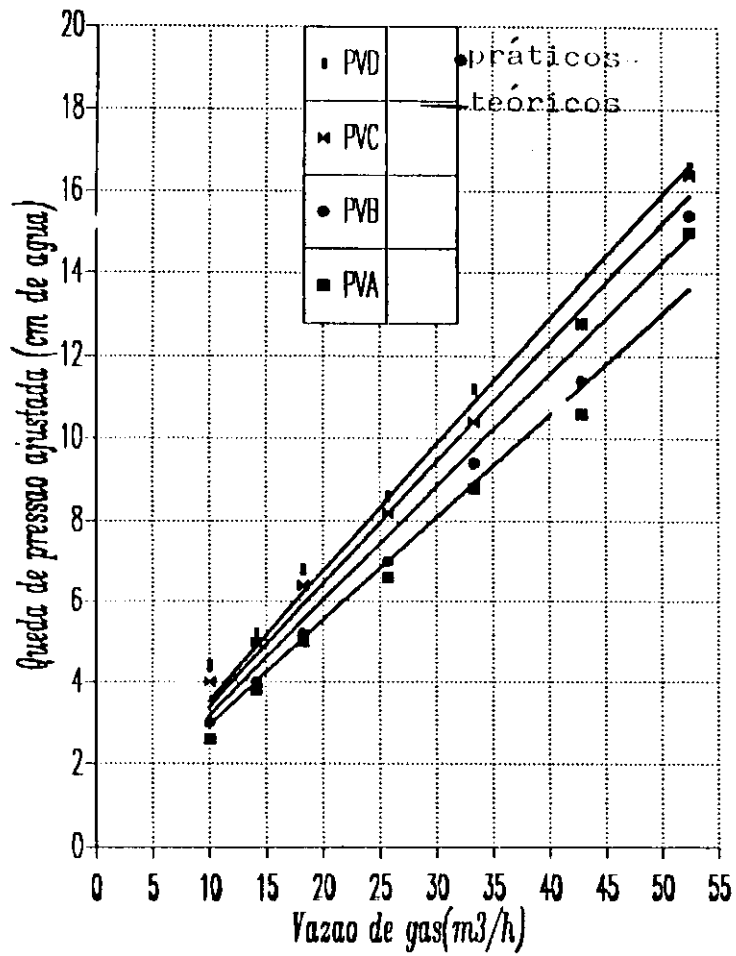


FIGURA 20:

Gráfico comparativo entre dados teóricos e práticos para PMS.

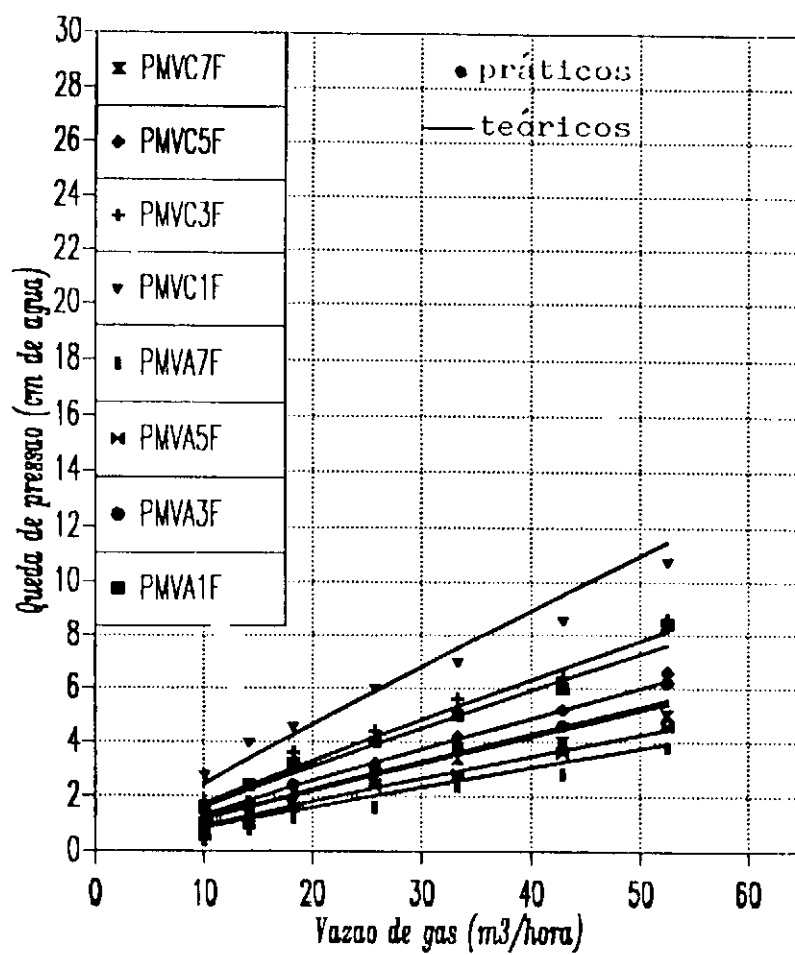


FIGURA 21 :

Gráfico comparativo entre dados teóricos e dados práticos obtidos para PMVAS.

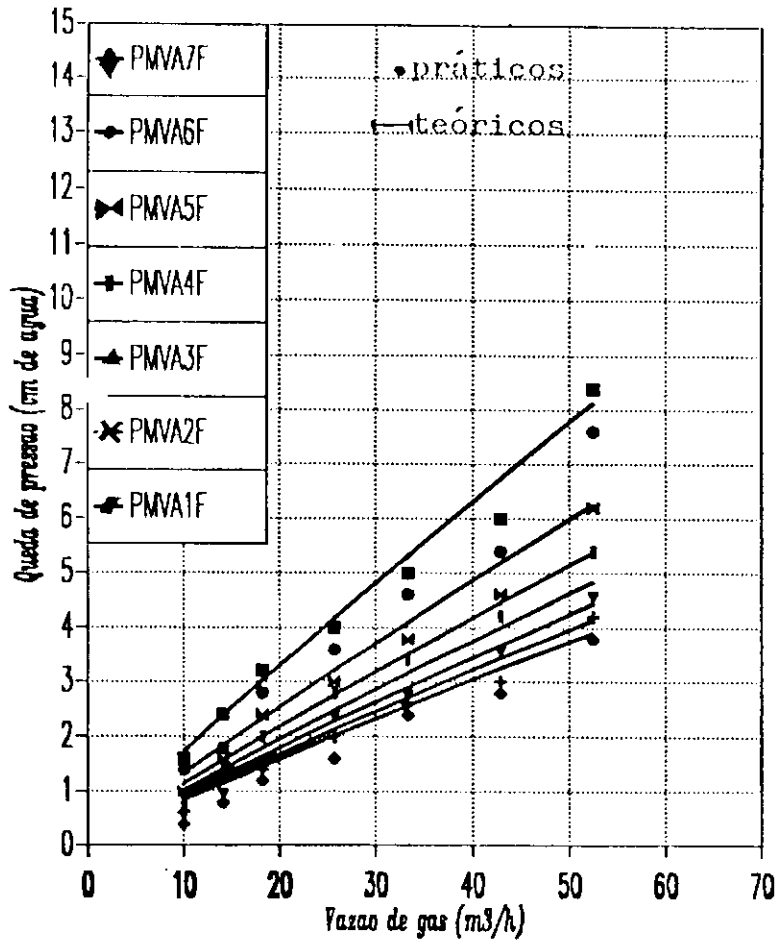


FIGURA 22:

Grafico comparativo entre dados praticos e teóricos para PP com 1 cm da altura do liquido.

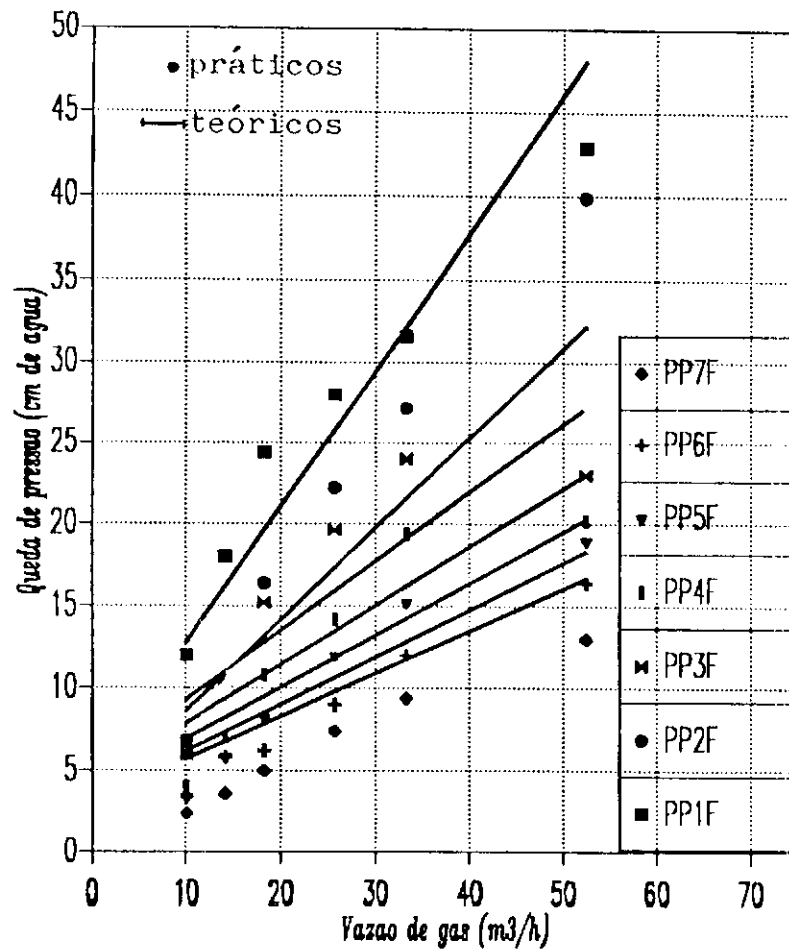


FIGURA 23:
 Compara dados práticos dos dados teóricos para pratos valvulados molhados. $H = 5 \text{ cm}$

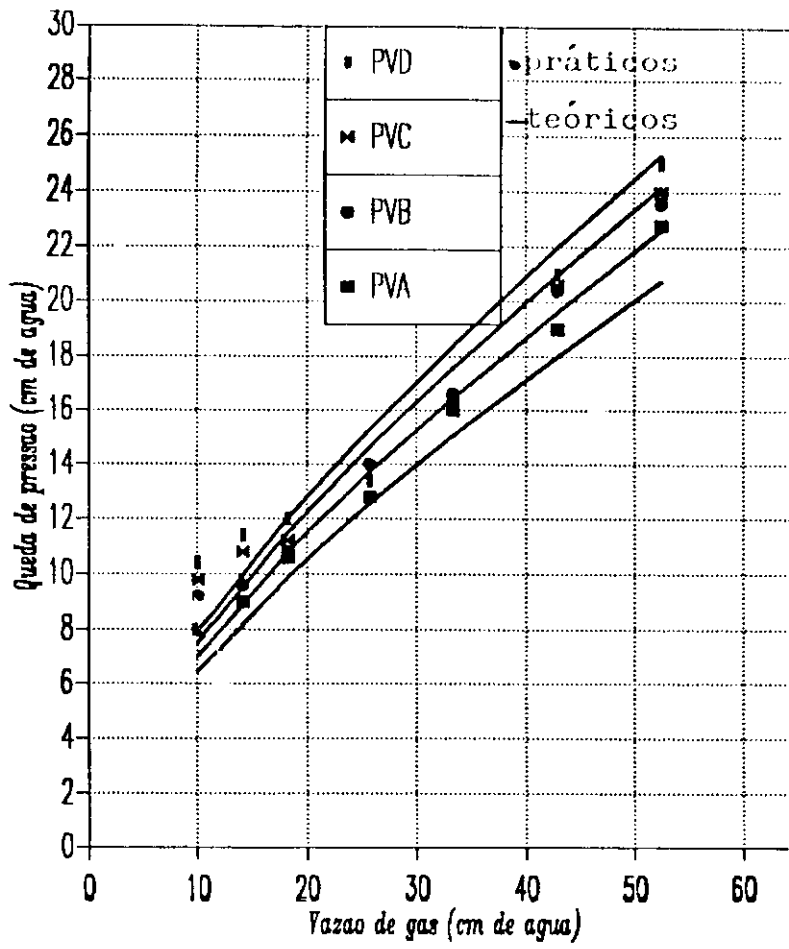


FIGURA 24:

Grafico comparativo entre dados teóricos e práticos para PM com $H = 2$ cm.

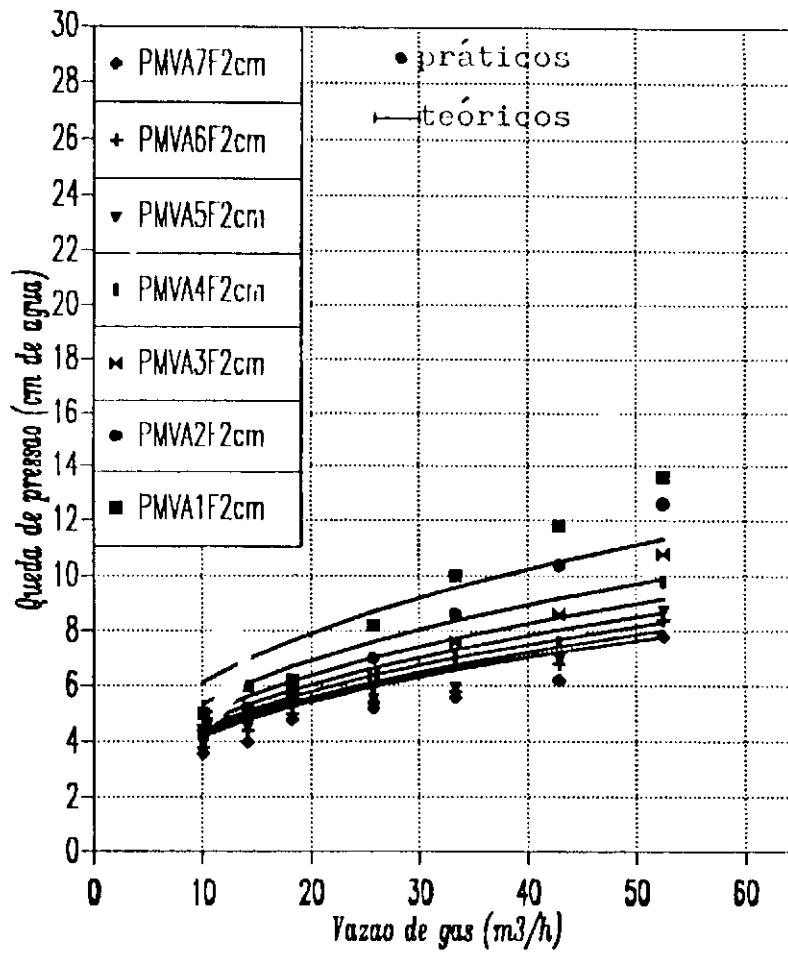


FIGURA 25:
 Comparacao entre dados praticos e teóricos para um PMVA com $H = 5$ cm.

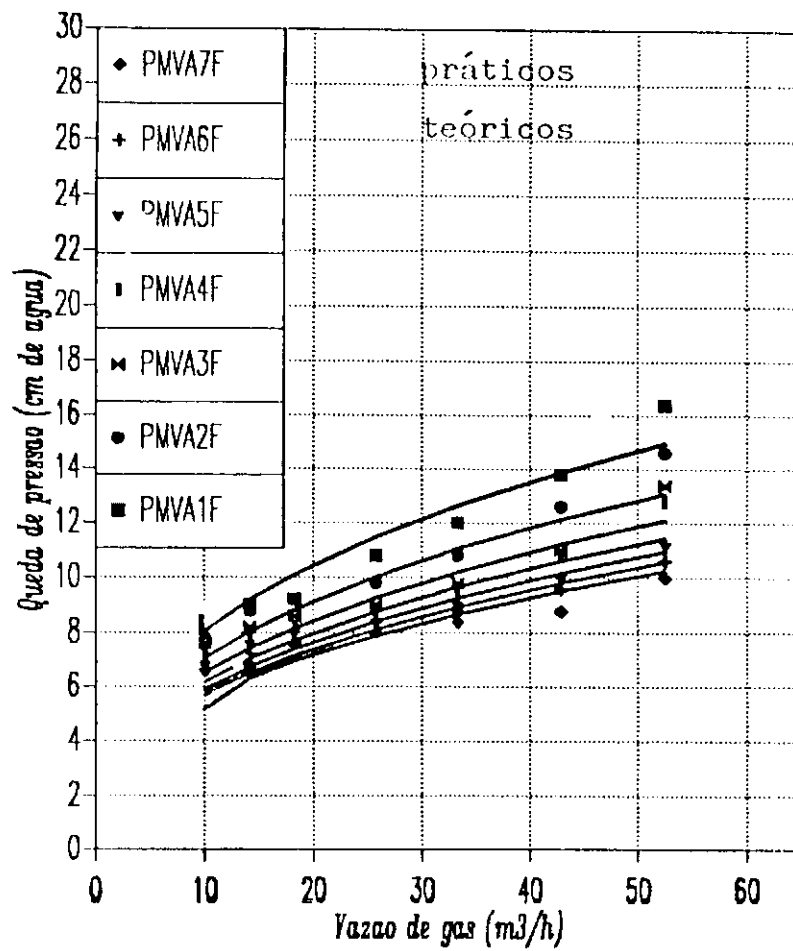


FIGURA 26:

Metodo comparativo. Influencia da camada liquida no PV.

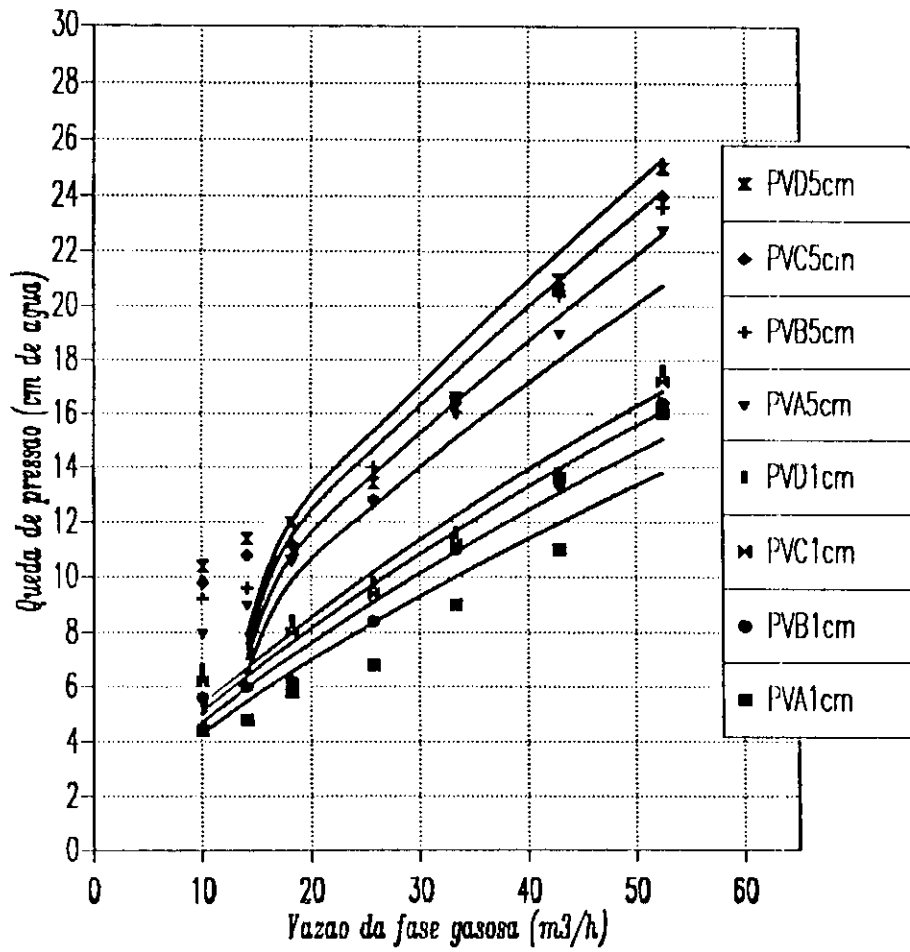


FIGURA 27:

Influencia da variacao da altura do liquido sobre o prato para a configuracao: PMVAMP

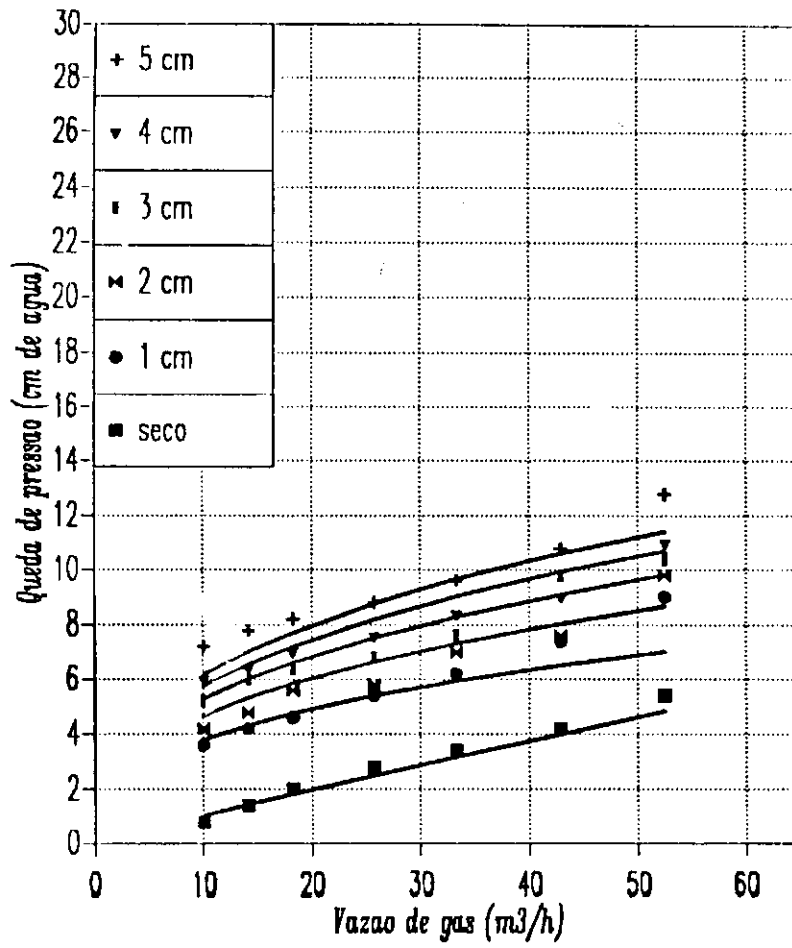


FIGURA 28:

Influência da camada líquida sobre os PVB.

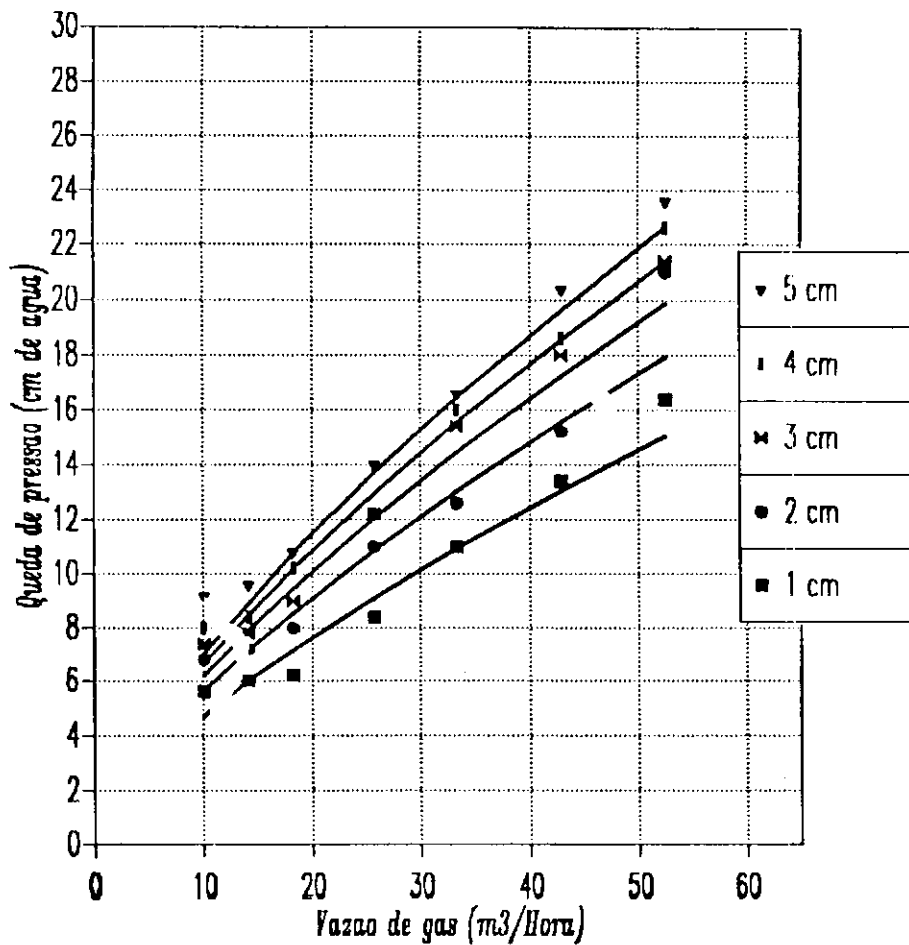


FIGURA 29:

Influência da camada líquida e do peso das válvulas nos pratos mistos.

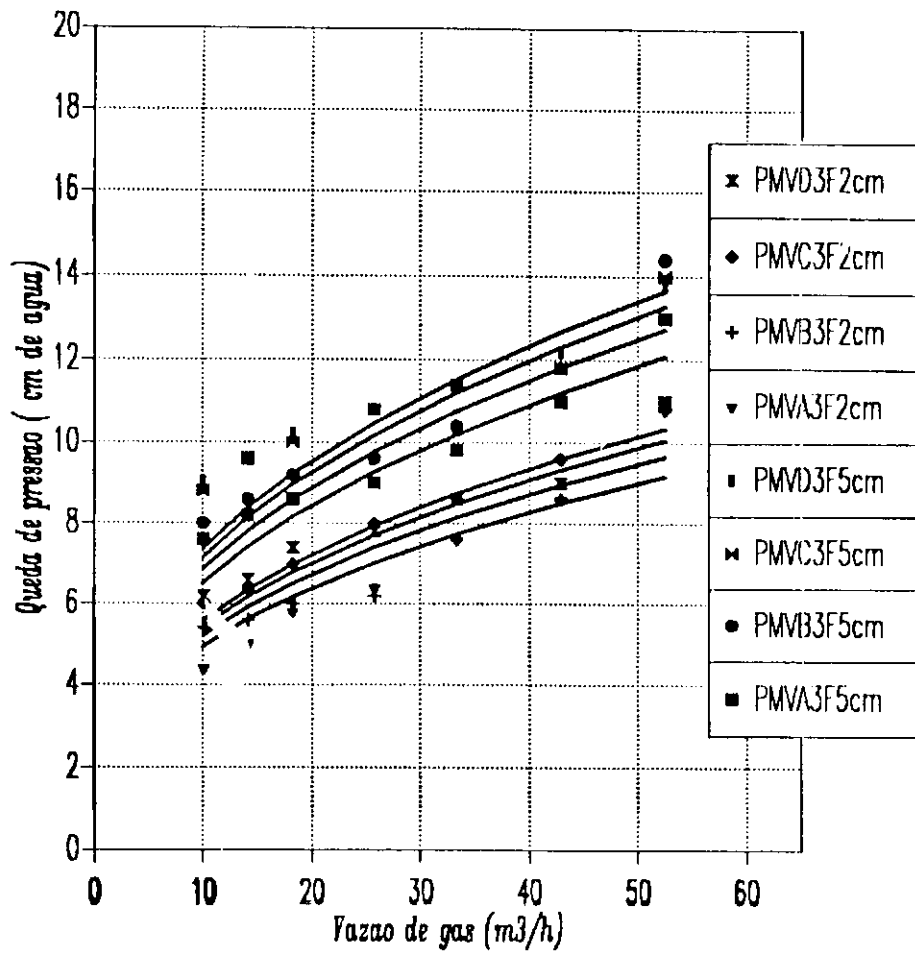


FIGURA 30:
 Comparacao entre a queda de pressao para PV e PMVA, secos.

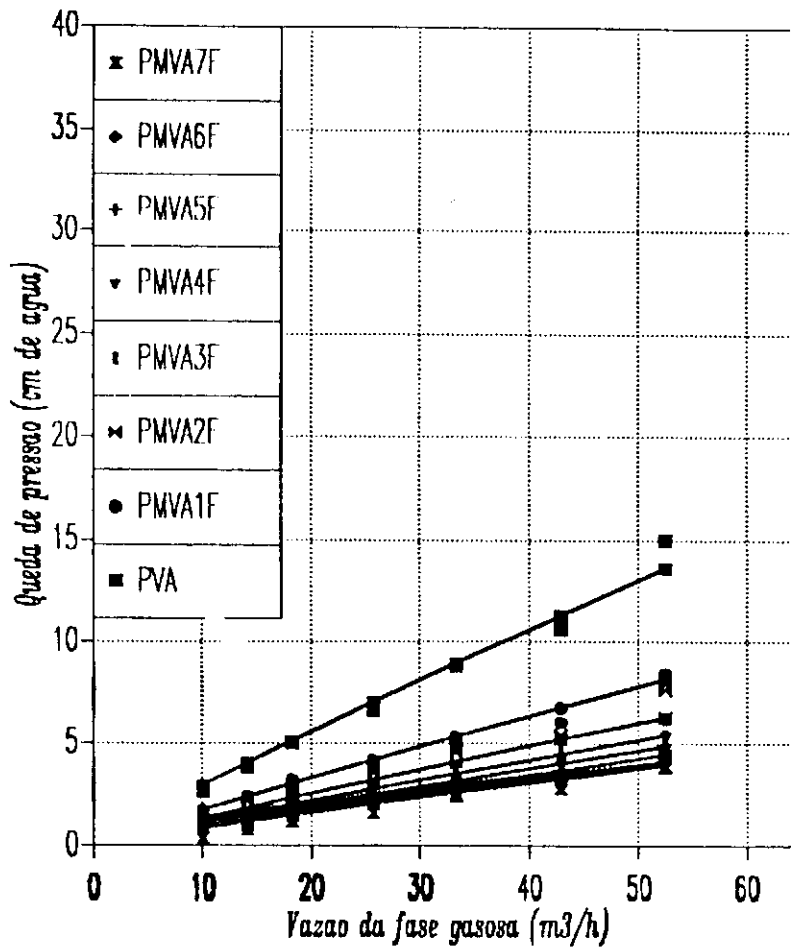
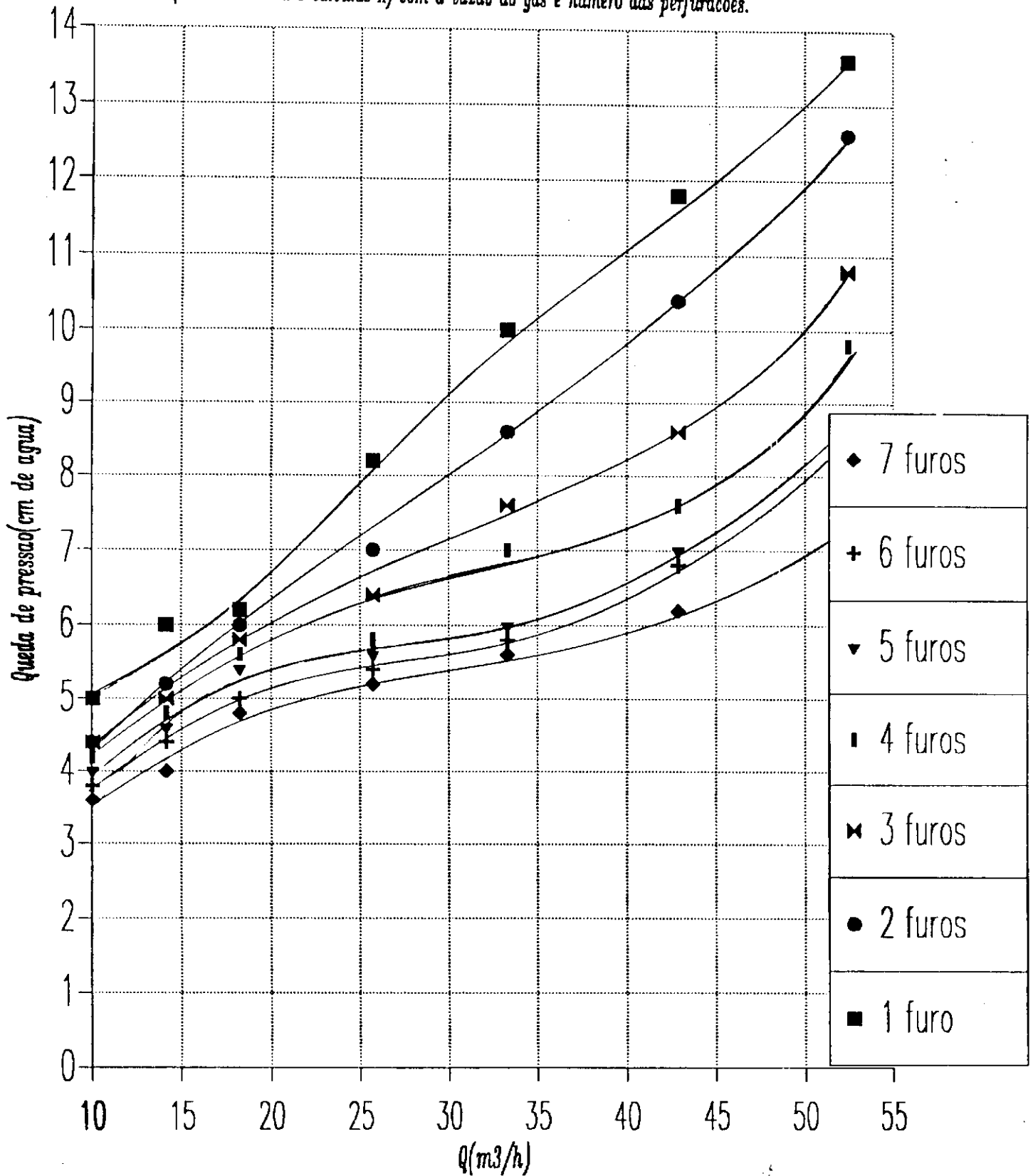


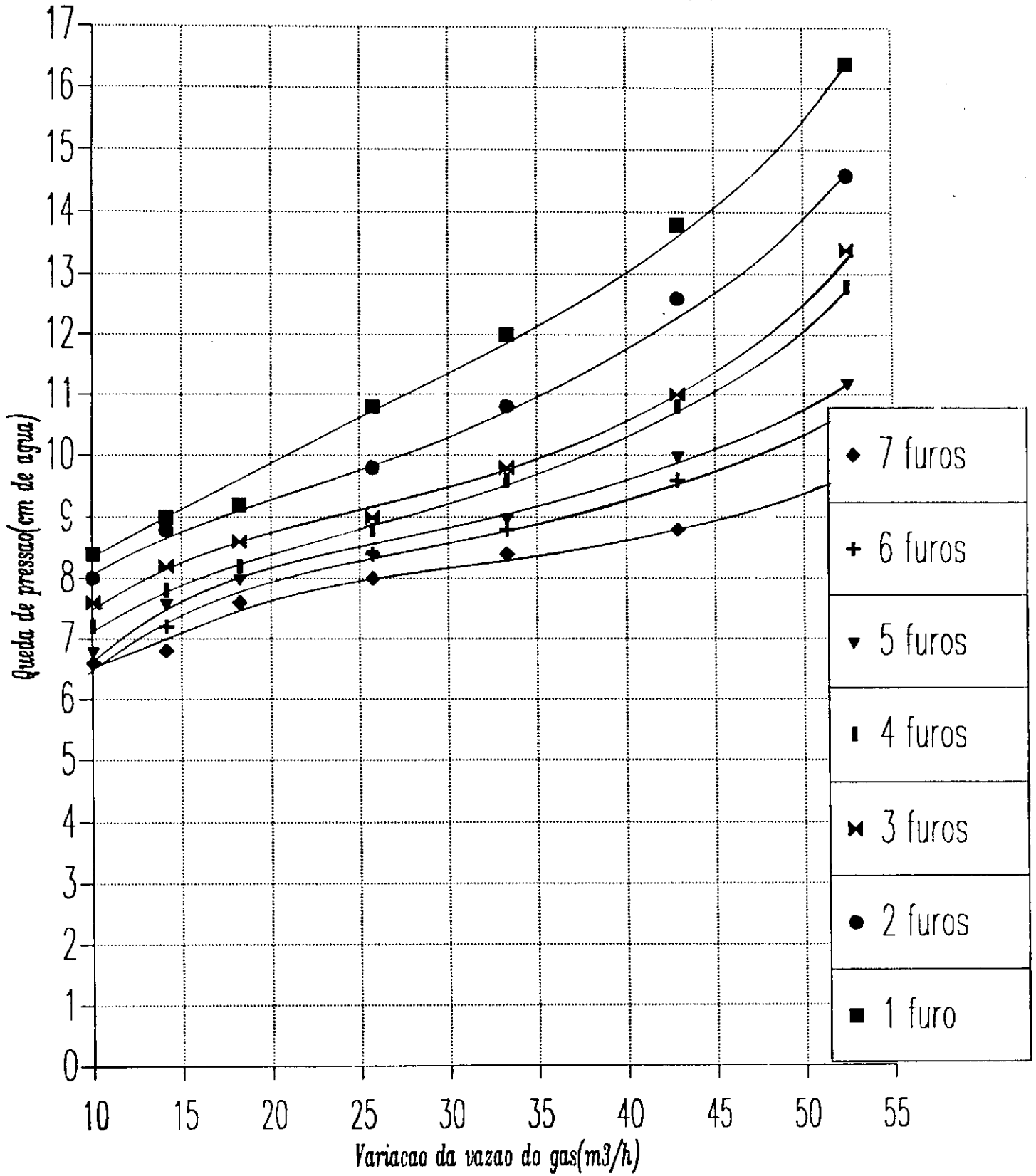
FIGURA 31 : *Variacao da queda de pressao em um prato misto molhado*

(2 cm de altura e valvulas A) com a vazao do gas e numero das perfuracoes.



Variacao da queda de pressao em um prato misto molhado

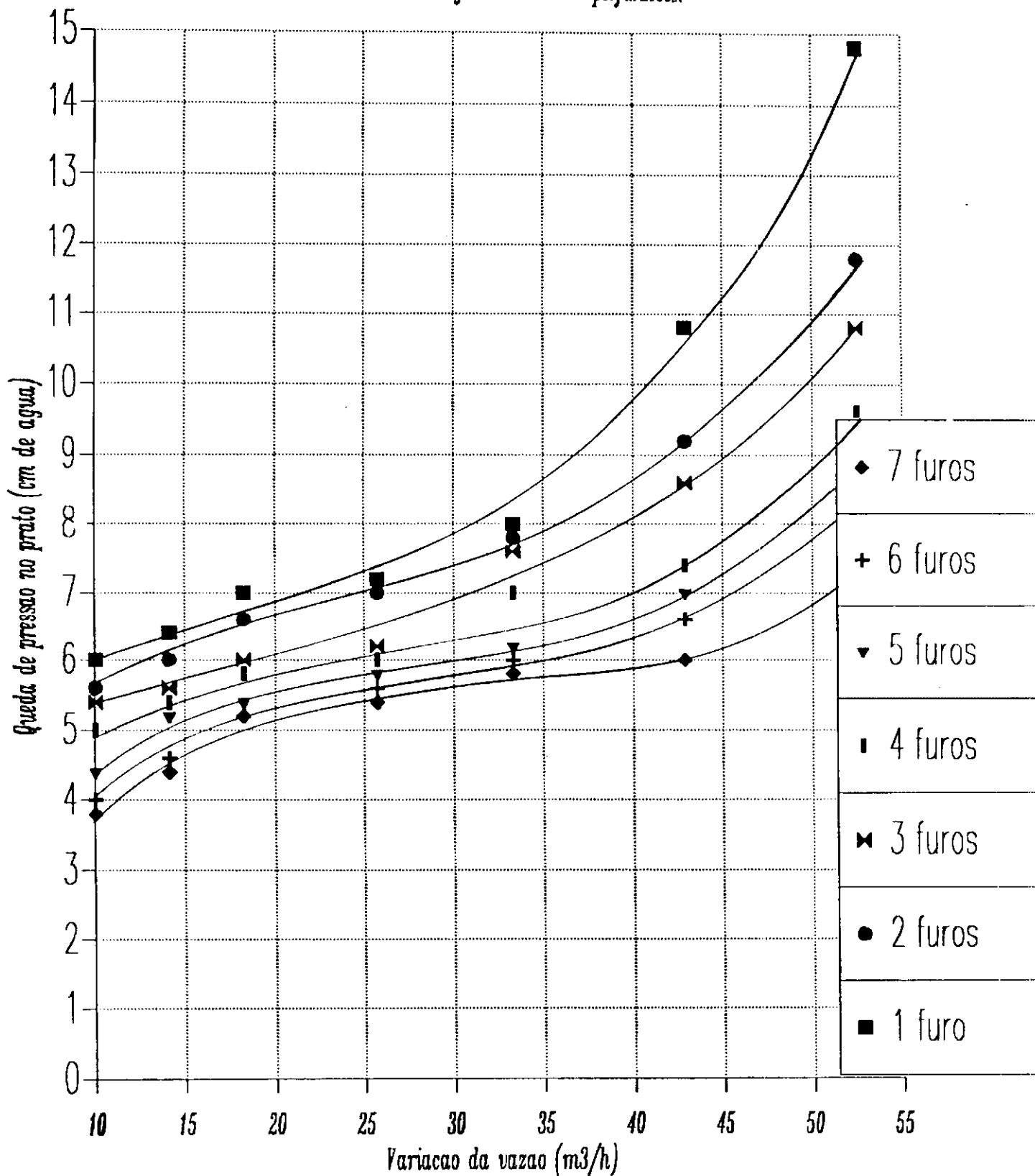
FIGURA 32: (5 cm de altura, valvulas A), com a vazao do gas e numero das perfuracoes.



Queda de pressao no prato misto molhado (2 cm de altura e valvulas B),

FIGURA 33:

com a vazao do gas e numero das perfuracoes.



Queda de pressão num prato misto molhado como função da variação da vazão do gás

FIGURA 34:

e do número das perfurações. H = 4 cm válvulas B.

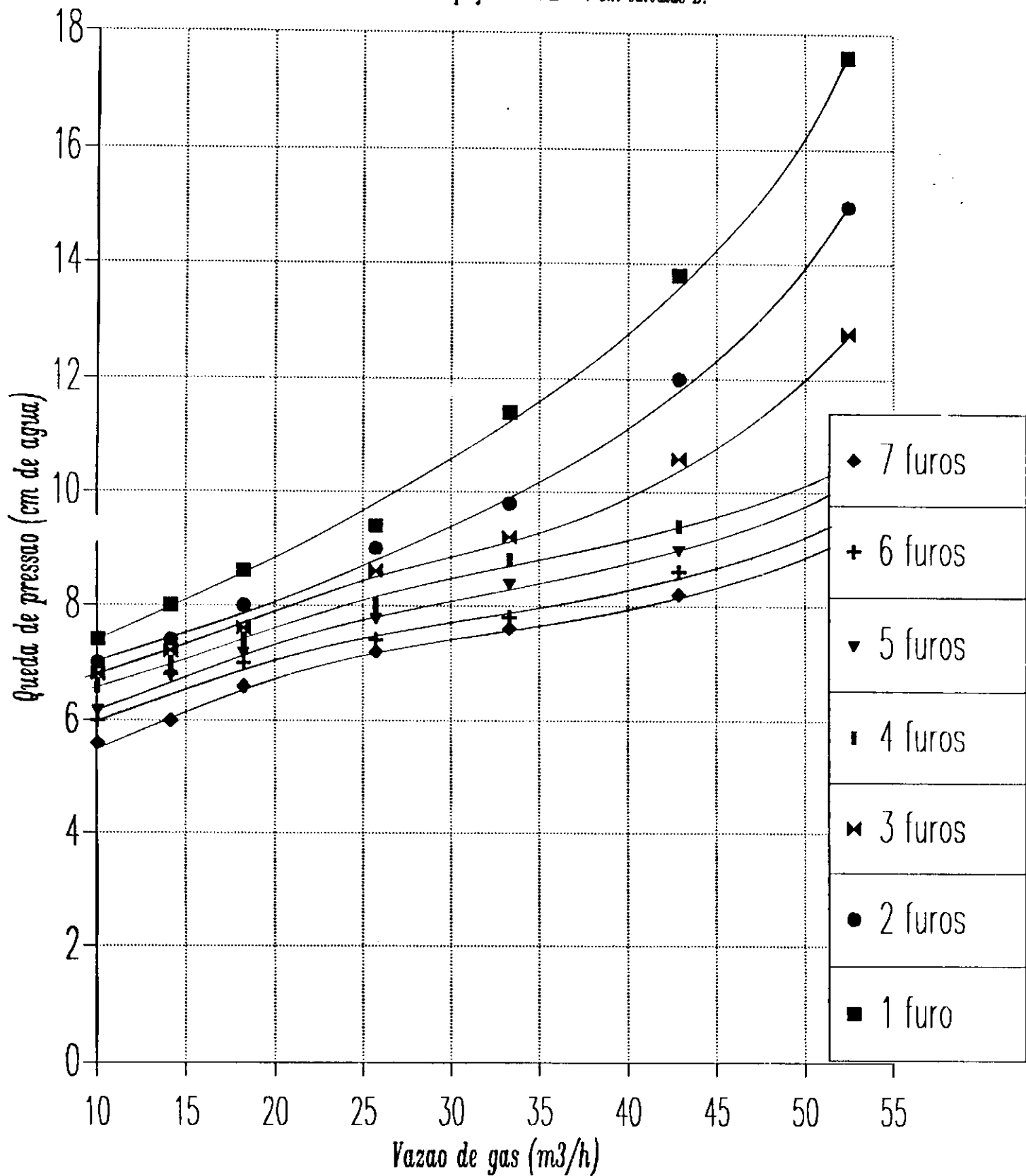


FIGURA 35: *Variacao da queda de pressao com a vazao de gas e numero das perfuracoes, num prato misto seco. H = 1 cm e valvulas tipo C.*

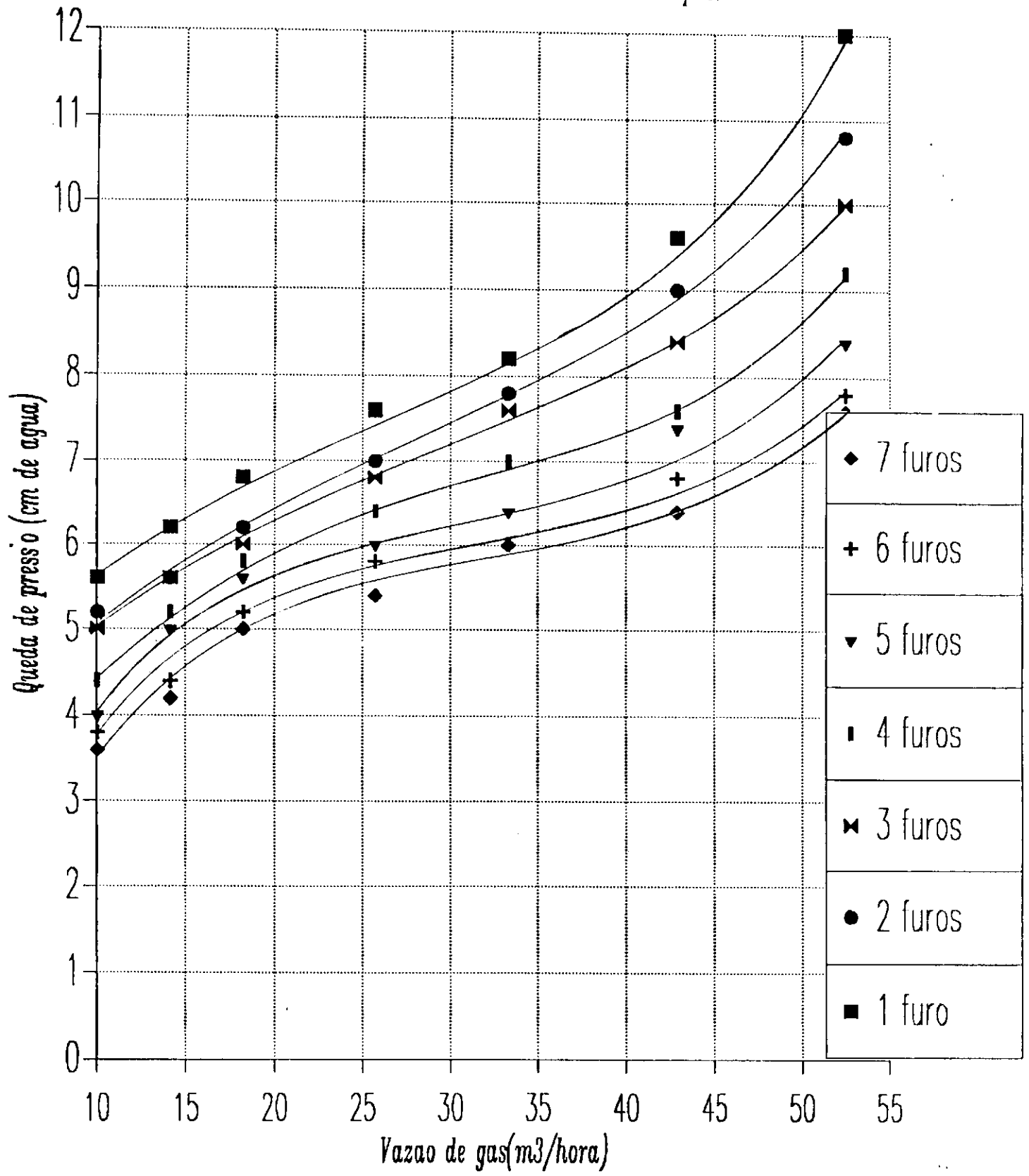


FIGURA 36: Queda de pressão num prato misto molhado como função da variação de vazão de gás e do número das perfurações. $H = 5$ cm válvulas D

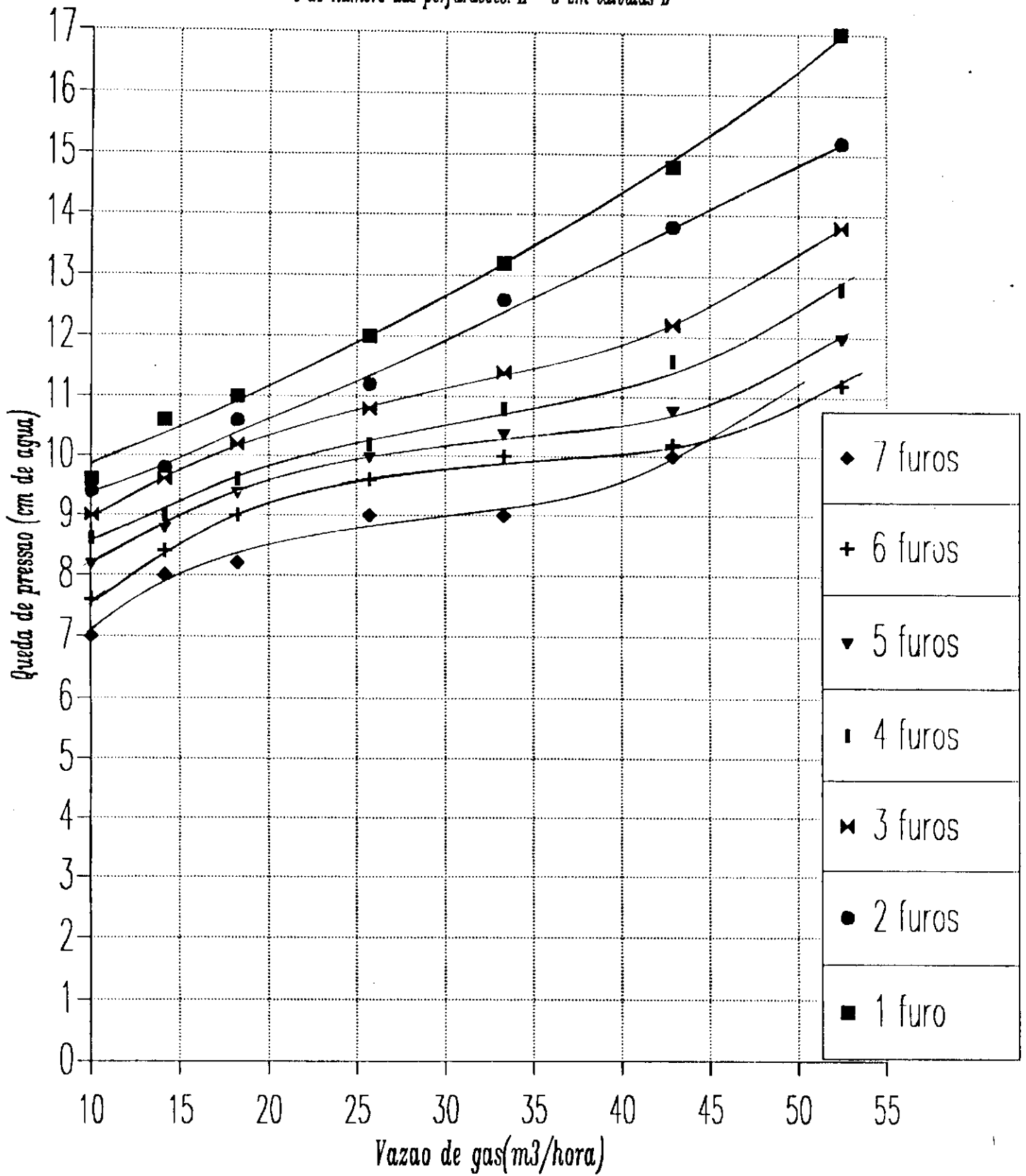


FIGURA 37:

Queda de temperatura num PVA com 3 cm de altura e valvulas A.

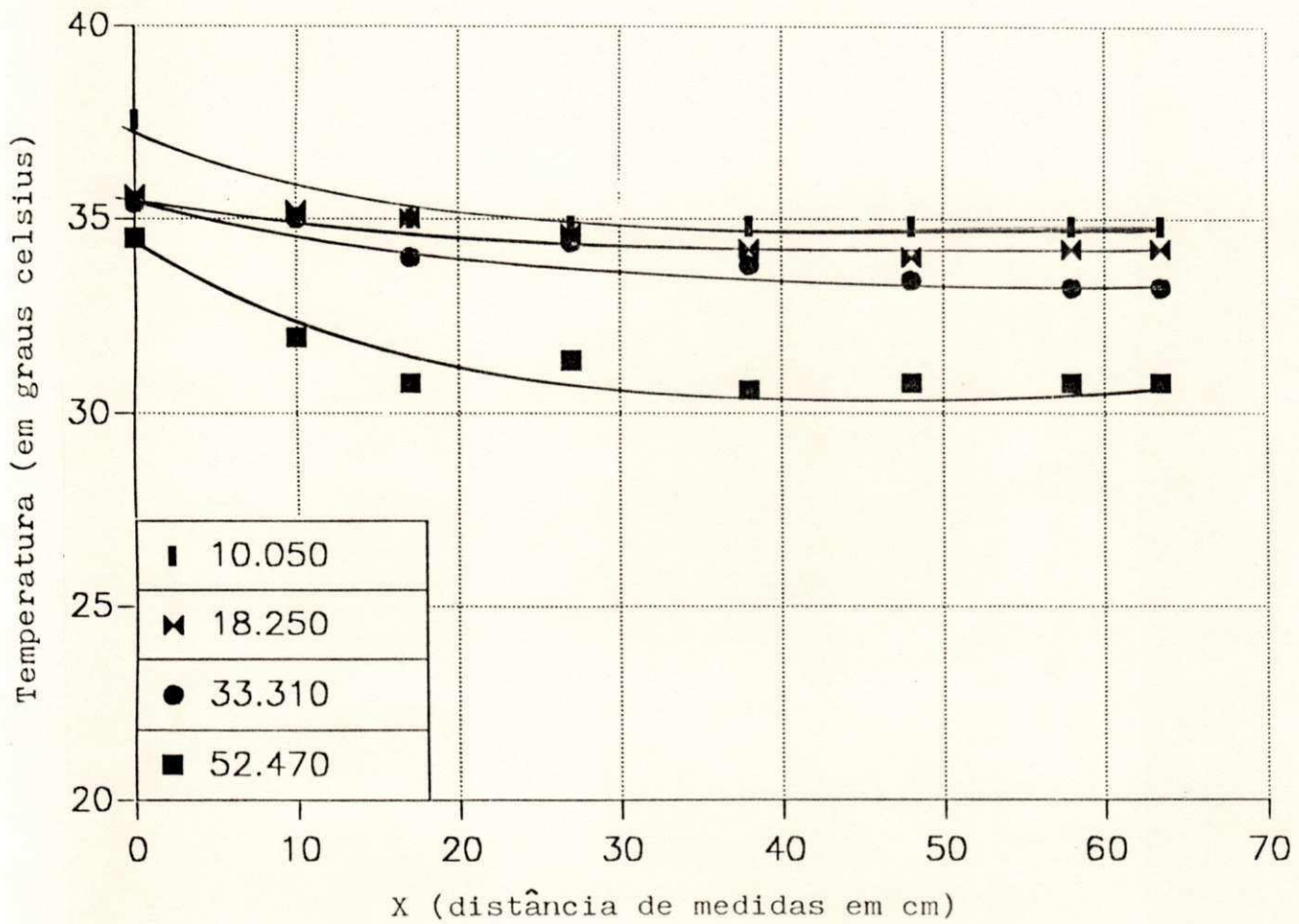


FIGURA 38:

queda de temperatura num prato valvulado (valvulas A e h = 5 cm)

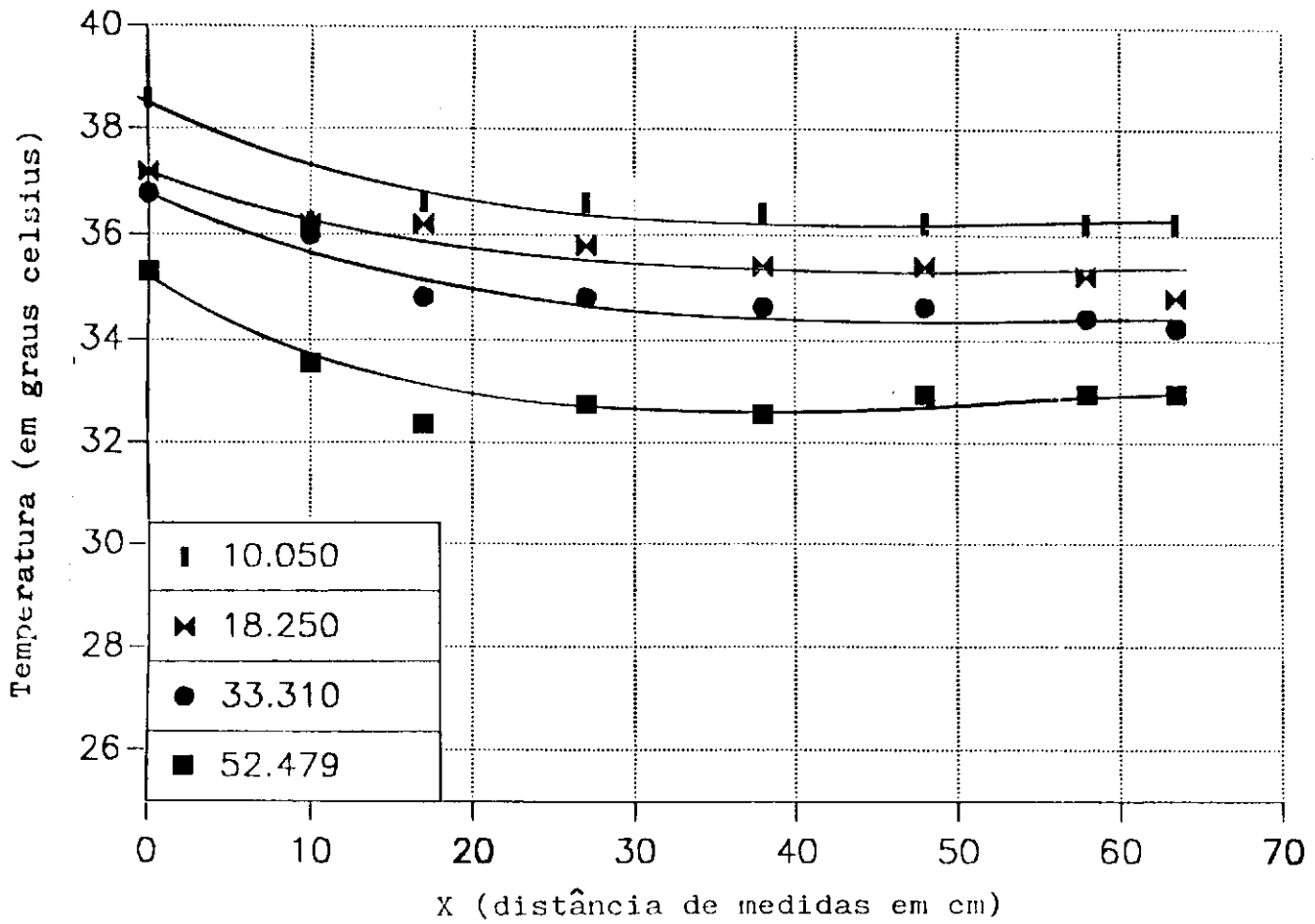


FIGURA 39:

Variacao da temperatura ao longo do PVC com altura do liquido de 3 cm.

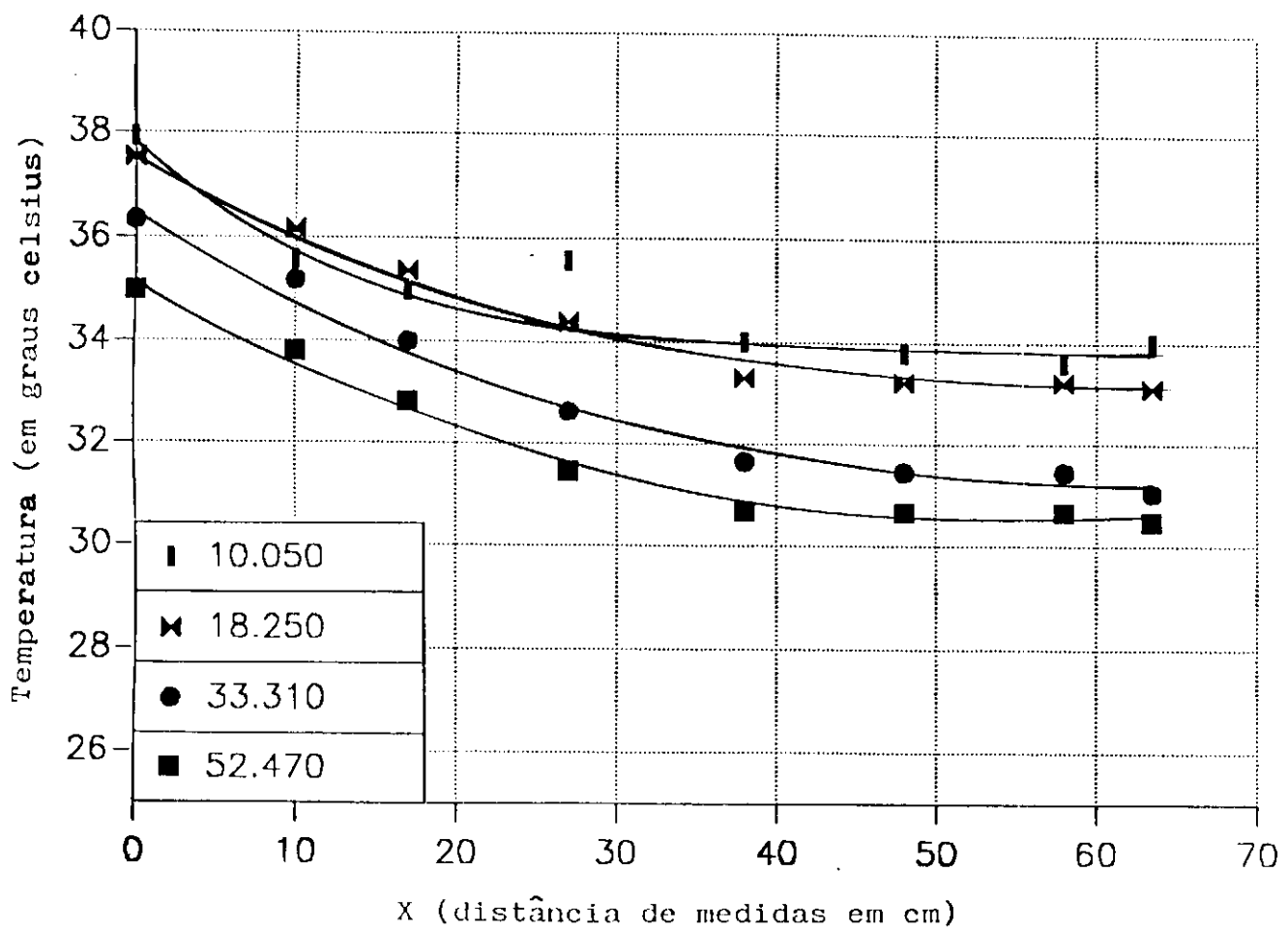


FIGURA 40:
 iriacao de temperatura ao longo de um PV com 5 cm de altura do liquido e valvulas tipo C.

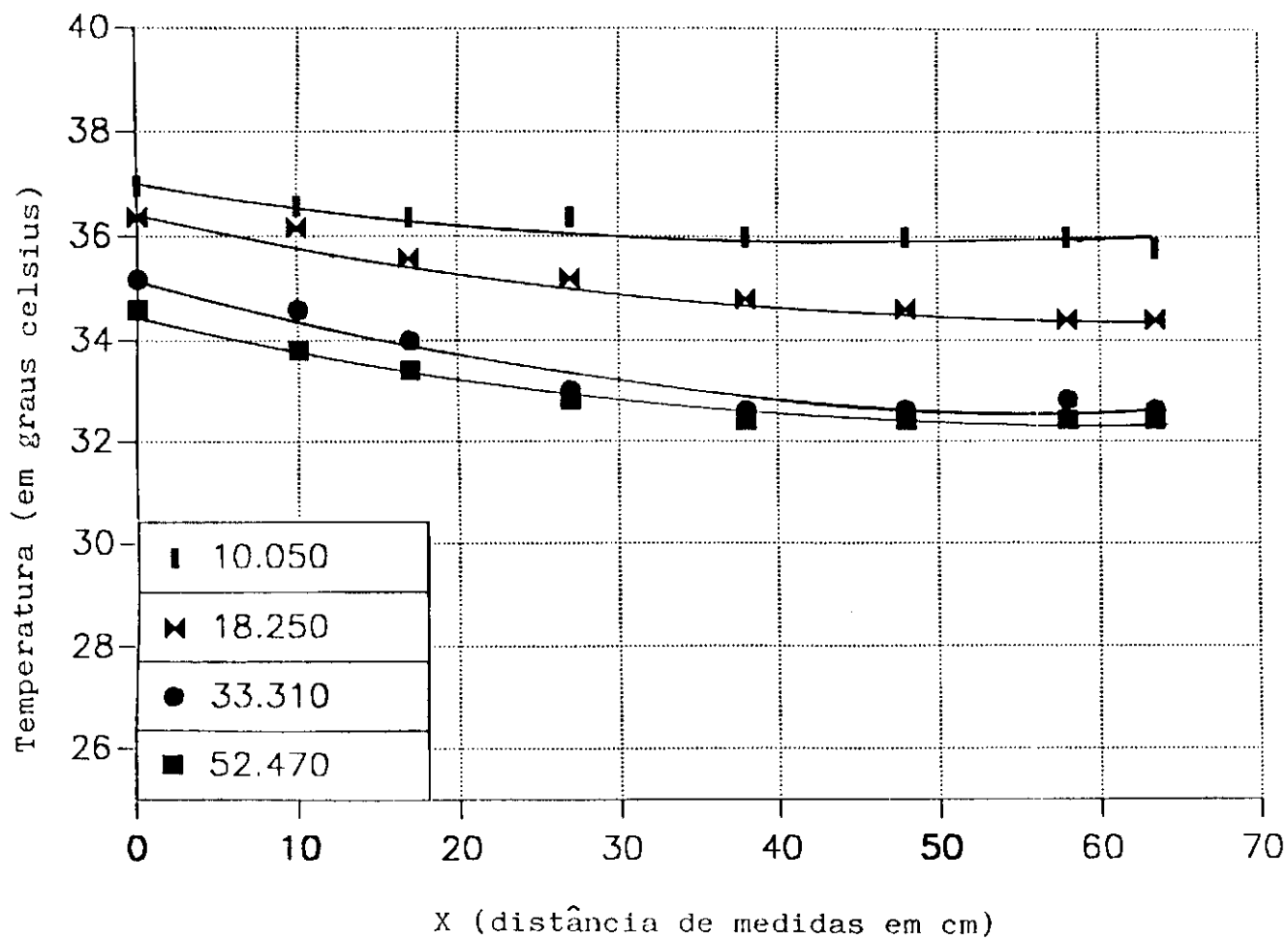


FIGURA 41:

Grafico comparativo entre PP5F - PMVA5F. $h = 5$ cm. Vazoes maximas e minimas de gas.

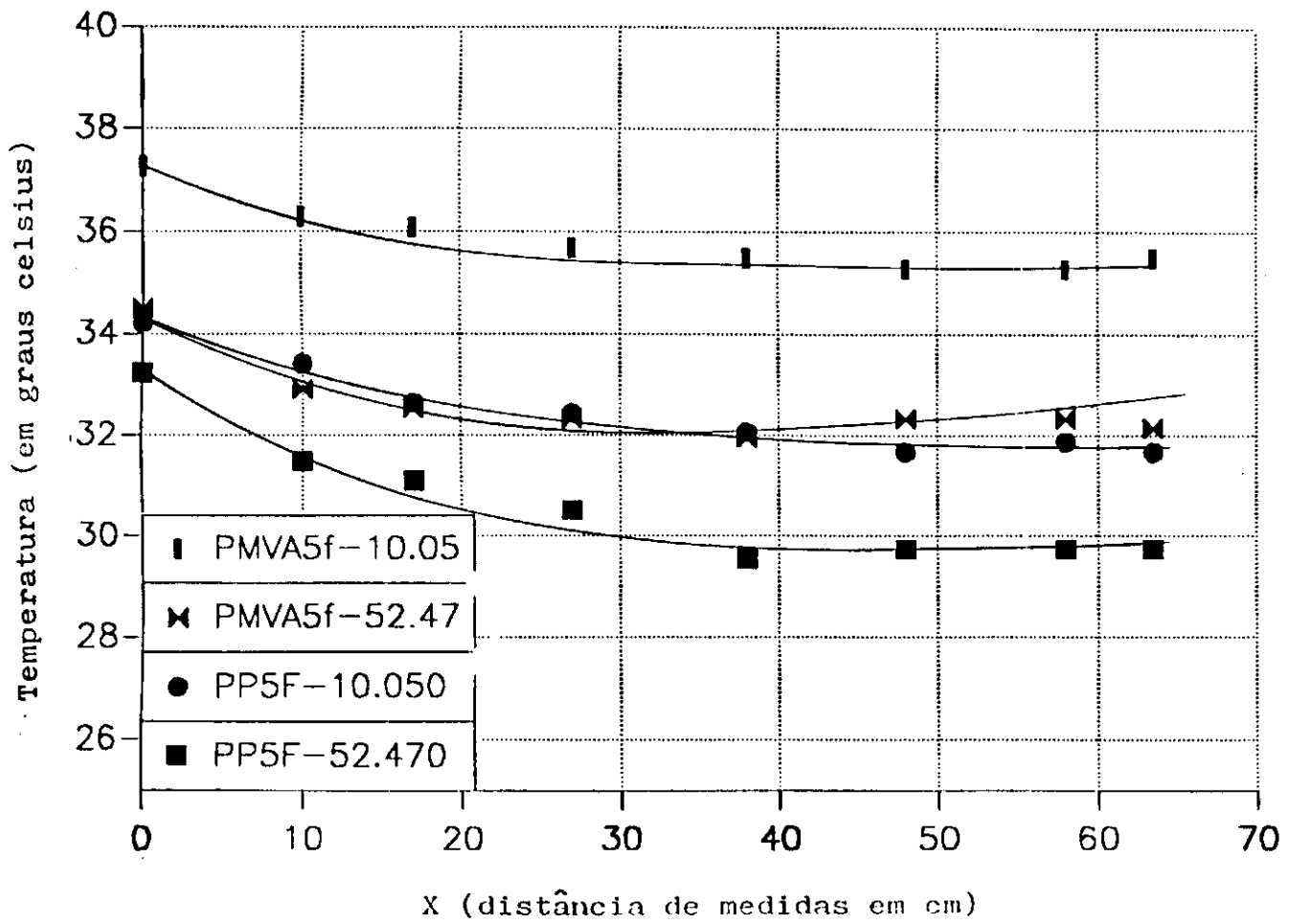


FIGURA 42:

Grafico comparativo entre PVA-PMVA5F com altura de 5 cm de altura do liquido.

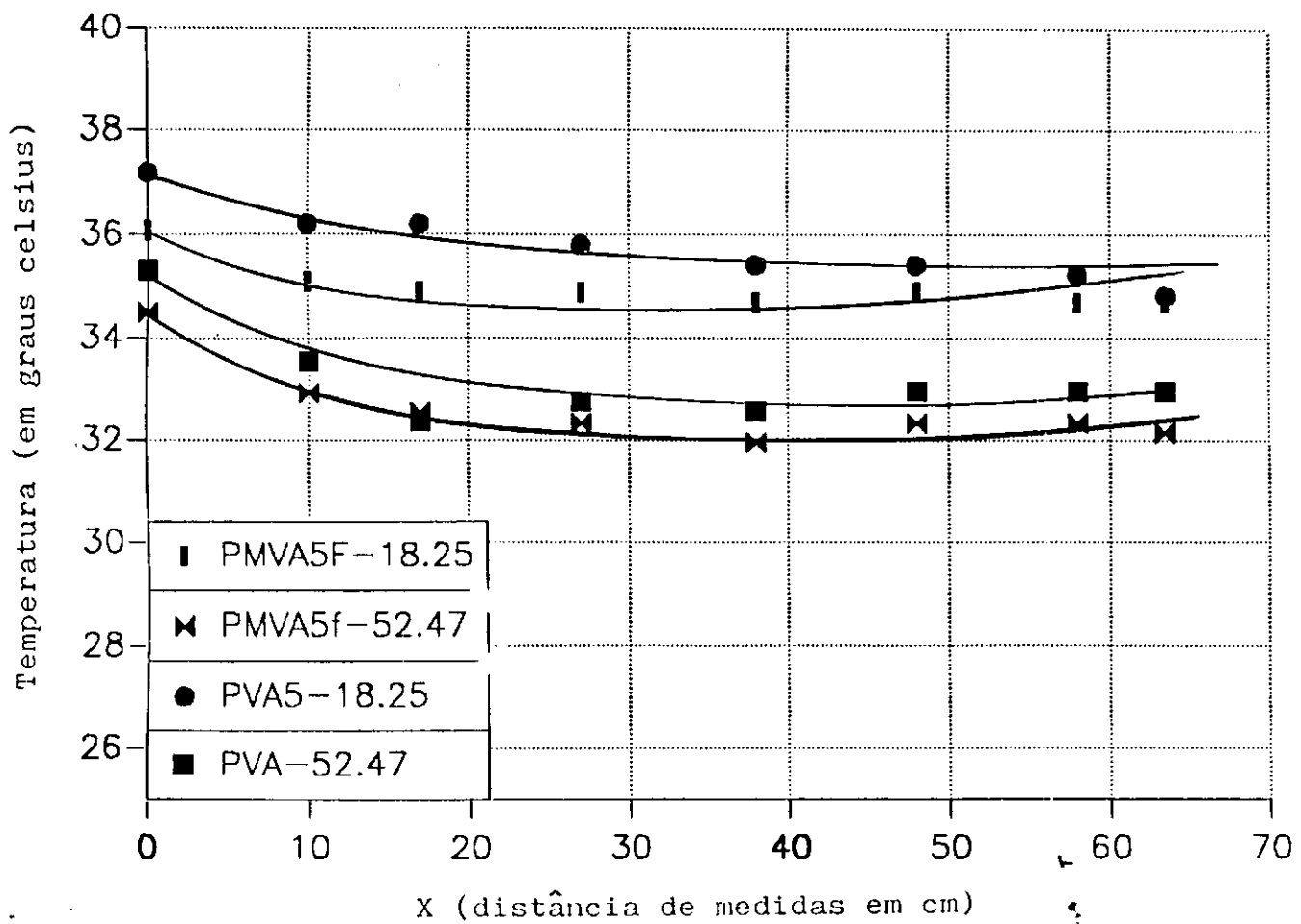


FIGURA 43:
Gráfico comparativo entre PVA-PVC, relacionando a queda de temperatura ao longo destes.

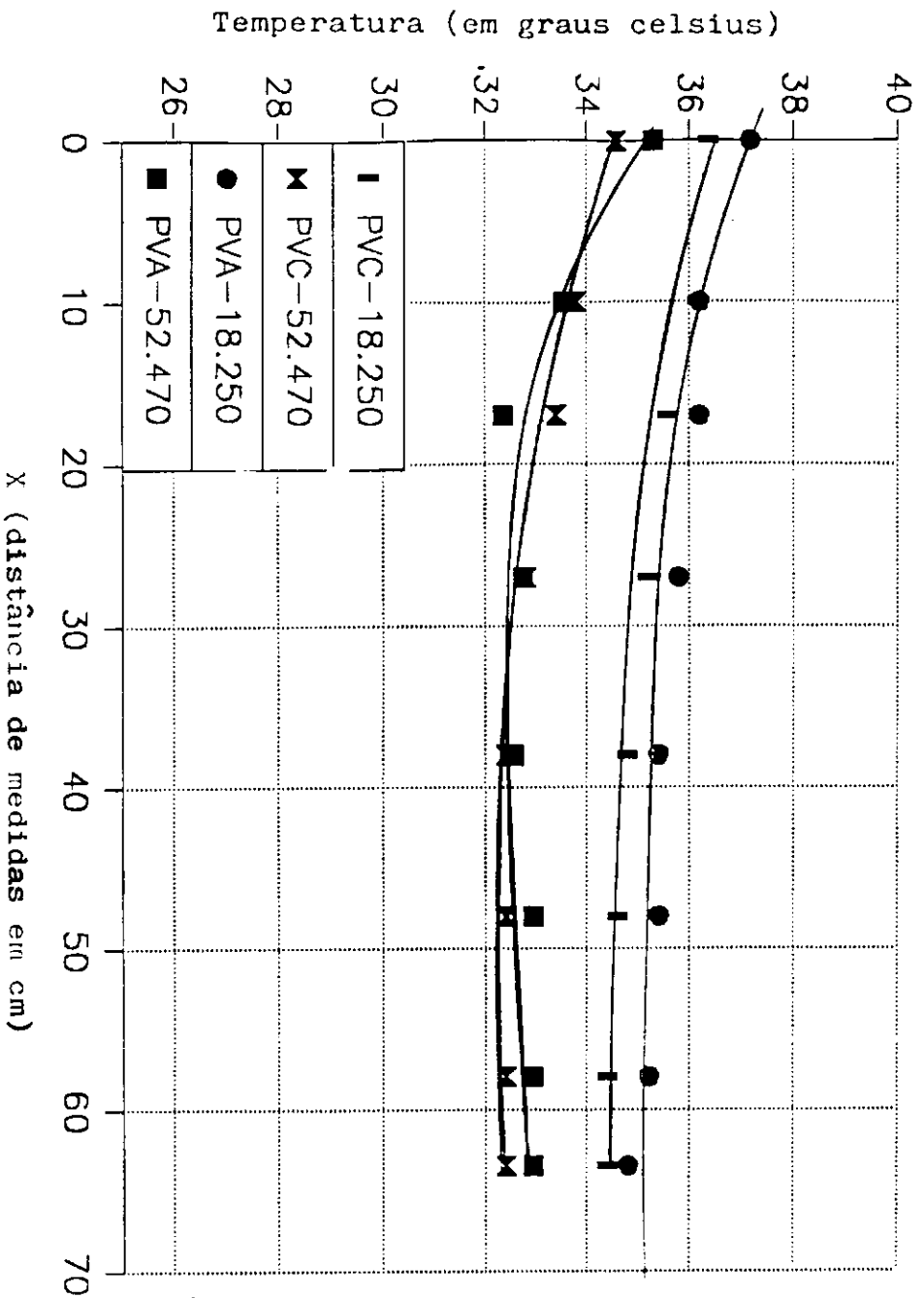


FIGURA 44:

Queda de temperatura num PMVA7F. $h = 5$ cm.

